



TUGAS AKHIR - SF 141501

**INTEGRASI METODE *SELF POTENTIAL* DAN METODE
VERY LOW FREQUENCY-ELECTROMAGNETIC UNTUK
IDENTIFIKASI NILAI POTENSI TANAH LONGSOR DI
SEKITAR JALAN RAYA TRENGGALEK-PONOROGO KM-23**

**NOVIANTIKA FAHRINA
NRP 01111340000006**

**Dosen Pembimbing
Dr. Sungkono, M.Si.**

**Departemen Fisika
Fakultas Ilmu Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018**



FINAL PROJECT - SF 141501

**INTEGRATED SELF POTENTIAL AND VERY LOW
FREQUENCY OF ELECTROMAGNETIC METHODS FOR
IDENTIFYING LANDSLIDE POTENTIAL AROUND
TRENGGALEK-PONOROGO HIGHWAY KM 23**

**NOVIANTIKA FAHRINA
NRP 01111340000006**

**Advisor
Dr. Sungkono, M.Si.**

**Department of Physics
Faculty of Natural Sciences
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018**

LEMBAR PENGESAHAN

**Integrasi Metode *Self Potential* dan Metode *Very Low Frequency-Electromagnetic* untuk Identifikasi Nilai Potensi Tanah Longsor di Sekitar Jalan Raya Trenggalek-Ponorogo
KM-23**

TUGAS AKHIR

Disusun untuk memenuhi syarat kelulusan mata kuliah Tugas
Akhir Program S-1
Departemen Fisika, Fakultas Ilmu Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

NOVIANTIKA FAHRINA
NRP. 01111340000006

Disetujui Dosen Pembimbing Tugas Akhir

Dr. Sungkono, M.Si.

(.....)

NIP. 19850702 201404.1.002

Surabaya, Januari 2018

INTEGRASI METODE *SELF POTENTIAL* DAN METODE *VERY LOW FREQUENCY-ELECTROMAGNETIC* UNTUK IDENTIFIKASI NILAI POTENSI TANAH LONGSOR DI SEKITAR JALAN RAYA TRENGGALEK-PONOROGO KM-23

Nama : Noviantika Fahrina
NRP : 01111340000006
Jurusan : Fisika, FIA-ITS
Pembimbing : Dr. Sungkono, M.Si.

Abstrak

Kabupaten Ponorogo merupakan salah satu daerah di Indonesia yang sering mengalami longsor, khususnya di sekitar daerah Jalan Raya Ponorogo-Trenggalek KM-23. Oleh karena itu, perlu dilakukan identifikasi nilai potensi longsor untuk meminimalisir kerugian akibat longsor. Yang dapat dilakukan melalui identifikasi bawah permukaan menggunakan metode Very Low Frequency-Electromagnetic (VLF-EM) dan penentuan aliran fluida bawah permukaan menggunakan metode Self-Potential (SP). Hasil dari pengukuran data VLF EM dan SP di sekitar daerah Jalan Raya Ponorogo-Trenggalek KM-23 ialah dengan metode SP mendapatkan anomali yang berupa anomali dipole dan monopole yang mengindikasikan adanya rekahan dan aliran fluida. Yang berkorelasi dengan metode VLF-EM yang ditunjukkan dengan persebaran fluida berdasarkan nilai resistivitas rendah ($\pm 2-10 \Omega m$). Selain itu, peneltan ini mengindikasikan bahwa aliran fluida berasal dari arah barat menuju timur dengan kedalaman berkisar 1-6 m. Keberadaan rekahan dan aliran fluida bawah tanah ini menjadi penyebab daerah penelitian merupakan daerah rawan longsor.

Kata kunci: *Fluida, Longsor, Resistivitas, Self-Potential, Very Low Frequency-Electromagnet.*

INTEGRATED SELF POTENTIAL AND VERY LOW FREQUENCY OF ELECTROMAGNETIC METHODS FOR IDENTIFYING LANDSLIDE POTENTIAL AROUND TRENGGALEK-PONOROGO HIGHWAY KM-23

Name : Noviantika Fahrina
NRP : 01111340000006
Major : Physics, FIA-ITS
Advisor : Dr. Sungkono, M.Si.

Abstract

Ponorogo is one of the region in Indonesia prone to landslide, especially especially around the area of Jalan Raya Ponorogo-Trenggalek KM-23. Thus, important to identifying landslide potential for minimized losses due landslide by identifying the subsurface in landslide prone areas using integrated Very Low Frequency of Electromagnet (VLF-EM) and can be performed soil subsurface analysis and flow direction of fluid in the ground Self Potential (SP) method. The result measurement of VLF-EM and SP data around Ponorogo-Trenggalek KM-23 Highway is SP method to get anomaly in the form of anomalies dipole and monopole which indicate the existence of fracture and fluid flow. Which correlates with the VLF-EM method shown by the fluid spread based on the low resistivity value ($\pm 2-10 \Omega m$). In addition, this designation indicates that the fluid flow is from west to east with depths ranging from 1 to 6 m. The existence of fractures and the flow of underground fluid is the cause of the research area is prone to landslides.

Keywords: Fluid, Landslide, Resistivity, Self Potential, Very Low Frequency-Electromagnet.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan nikmat, rahmat, hidayah dan inayahNya kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir. Serta tak lupa sholawat dan salam penulis haturkan kepada beliau baginda Rasulullah SAW yang telah membawa kita dari zaman kegelapan menuju zaman yang terang benderang. Tugas Akhir (TA) ini penulis susun sebagai syarat wajib untuk memperoleh gelar sarjana di departemen Fisika FIA ITS dengan judul:

INTEGRASI METODE *SELF POTENTIAL* DAN METODE *VERY LOW FREQUENCY-ELECTROMAGNETIC* UNTUK IDENTIFIKASI NILAI POTENSI TANAH LONGSOR DI SEKITAR JALAN RAYA TRENGGALEK-PONOROGO KM-23

Karya tulis ini, dipersembahkan penulis kepada masyarakat Indonesia pada umumnya dan Kabupaten Ponorogo khususnya. Ucapan terimakasih juga disampaikan penulis kepada segala pihak yang telah mendukung dalam penyelesaian penelitian serta penulisan tugas akhir ini.

1. Bapak Dr. Sungkono, M.Si selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang senantiasa bersabar memberikan bimbingan, arahan, wawasan dan motivasi kepada penulis hingga dapat menyelesaikan tugas akhir.
2. Bapak Dr.rer.nat. Eko Minarto, M.Si dan Bapak Heru Sukamto, M. Si selaku dosen penguji yang nantinya akan menguji tugas akhir ini.
3. Teman penelitian Mas Adi, Mbak Rina, Aulia Ur Rohman dan M. Husein Alfaritsi yang telah rela membantu dan bertarung melawan bahaya longsor demi pencapaian Tugas Akhir ini.
4. Kedua orang tua tercinta ibunda Holilah dan ayahanda Halili yang selalu mendoakan penulis, memberikan kasih sayang, memotivasi, dan memberikan semua yang dibutuhkan penulis selama ini.

5. Adik-adik tersayang Elly Vivian Andalia dan Reza Alvian Alamsyah yang selalu memberikan dukungan dan tempat berbagi keluh kesah penulis.
6. Keluarga besar yang selalu memberikan dukungan baik secara langsung maupun tersirat kepada penulis.
7. Sahabat terbaik yang memiliki minat terhadap sesuatu yang sama Adhistya Ratnasari, Wafa Faziatuz S., Nurin Wachidah, Eka Yuliana, Befie Kurnia dan Afidah Zuroidah yang selalu memotifikasi, menghibur, menjadi tempat keluh kesah penulis.
8. Sahabat terbaik Masyitatus Darris S. dan Nurul Amalia T. serta teman-teman Fisika 2013 yang selalu membantu, menemani, dan menjadi gudang motivasi kepada penulis.
9. Teman-teman Lab Geofisika ITS Fairus Salimatul F., Nurul Huda, Badri Gigih S., Devi Nurulfa, Rayhan Syauqiyah dan Silvi yang telah banyak memberikan sharing ilmu dan membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
10. Bapak Dr. M. Zainuri, M.Si selaku dosen wali, yang selalu sabar memberikan nasehat dan arahan kepada penulis.
11. Bapak Dr. Yono Hadi Pramono M. Eng. beserta Bapak Dr.rer.nat Eko Minarto, S.Si, M.Si selaku ketua dan sekretaris Departemen Fisika FIA ITS.
12. Seluruh Dosen dan pegawai di Departemen Fisika FIA ITS Surabaya yang telah memberikan ilmu pada penulis selama masa kuliah S1 Departemen Fisika FIA ITS.

Penulis menyadari dalam penyusunan laporan ini masih terdapat kekurangan. Mohon kritik dan saran pembaca guna menyempurnakan laporan ini. Akhir kata semoga laporan Tugas Akhir ini bermanfaat bagi semua pihak.

Surabaya, Januari 2018

Penulis
Rienanovia19@gmail.com

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
COVER PAGE	iii
LEMBAR PENGESAHAN	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xix
BAB I	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat penelitian	3
1.6 Sistematika penulisan	3
BAB II.....	5
TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Geologi Daerah Ponorogo	5
2.2 Longsor (<i>Landslide</i>).....	6
2.3 <i>Very Low Frequence Electromagnetic</i> (VLF-EM)	7
2.4 <i>Self Potential</i> (SP).....	11
2.4.1 Tipe-Tipe Self Potential (SP)	12
2.4.2 Metode Pengukuran Metode SP	14
2.5 <i>Continuous Wavelet Transform</i> (CWT).....	15
BAB III.....	17
METODOLOGI	17

3.1 Peralatan dan Bahan Penelitian.....	17
3.2 Prosedur Kerja	17
3.2.1 Studi Literatur	17
3.2.2 Survey Awal.....	17
3.2.3 Akuisisi Data Metode VLF-EM dan Metode SP.....	18
3.2.4 Pengolahan Data.....	19
3.2.5 Interpretasi Kualitatif dan Kuantitatif	19
BAB IV.....	21
ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	21
4.1 Analisa Data VLF-EM.....	21
4.1.1 Interpretasi Kualitatif	21
4.1.2 Analisa Kuantitatif	24
4.2 Analisa Data SP	30
4.2.1 Interpretasi Kualitatif	30
4.2.2 Interpretasi Kuantitatif	34
4.3 Hasil Integrasi Metode VLF-EM dan Metode SP.....	38
BAB V	41
KESIMPULAN DAN SARAN	41
5.1 Kesimpulan	41
5.2 Saran	41
DAFTAR PUSTAKA.....	43
LAMPIRAN	45
BIODATA PENULIS.....	57

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Peta Geologi Daerah Penelitian (dimodifikasi dari Sampurno, 1997).	5
Gambar 2.2 Longsor kecil yang terjadi di daerah penelitian	6
Gambar 2.3 Distribusi medan EM untuk metode VLF dalam polarisasi listrik dengan sinyal diatas sebuah dike konduktif vertikal (diambil dan digambar ulang dari Wijaya, 2014).....	8
Gambar 2.4 Hubungan fase gelombang primer dan sekunder (diambil dan digambar ulang dari Indriyani, 2014).....	10
Gambar 3.1 Lintasan pengambilan data VLF-EM dan SP.....	18
Gambar 3.2 Diagram alir penelitian.....	20
Gambar 4.1 Korelasi data <i>inphase</i> dan <i>quadrature</i> pada lintasan 1 sebelum dilakukan <i>filtering</i>	21
Gambar 4.2 Dekomposisi data <i>inphase</i> dan <i>quadrature</i> pada lintasan 1	22
Gambar 4.3 Grafik data VLF-EM ter- <i>filter</i> pada lintasan 1	23
Gambar 4.4 Grafik <i>Inphase</i> dan <i>Quadrature</i> lintasan 1 sebelum dilakukan <i>filter</i> Fraser	23
Gambar 4.5 Grafik <i>Inphase</i> dan <i>Quadrature</i> lintasan 1 sesudah dilakukan <i>filter</i> Fraser	24
Gambar 4.6 Hasil inversi data VLF-EM pada lintasan 1	25
Gambar 4.7 Hasil inversi data VLF-EM pada lintasan 2	26
Gambar 4.8 Hasil inversi data VLF-EM pada lintasan 3	27
Gambar 4.9 Hasil plot 3D persebaran fluida dan ketiga lintasan survey	28
Gambar 4.10 Longsor yang terjadi di daerah penelitian	29

Gambar 4.11 Hasil model 3D dengan sayatan horizontal tiap kedalaman.....	30
Gambar 4.12 Interpolasi data pada line 3	31
Gambar 4.13 Hasil CWT <i>real-imaginary</i> pada lintasan 1 H1 ...	32
Gambar 4.14 Hasil CWT <i>phase-modulus</i> lintasan 1 H1	32
Gambar 4.15 Identifikasi posisi anomali pada lintasan 1 dengan H1	34
Gambar 4.16 Data SP dan posisi anomali pada lintasan 1	36
Gambar 4.17 Data SP dan posisi anomali pada lintasan 2	36
Gambar 4.18 Data SP dan posisi anomali pada lintasan 3	37

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Sumber dan Tipe Anomali SP (Reynolds, 1997).....	11
Tabel 4.1 Jenis <i>Wavelet</i> dan <i>Extrema</i> yang Digunakan.....	33
Tabel 4.2 Hasil analisis kedalaman dan posisi anomali.....	35

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A Hasil Pengolahan VLF-EM pada Tahap <i>Filtering</i> NA-MEMD	45
LAMPIRAN B Hasil Pengolahan SP <i>Extrema</i> pada Analisa MatDepth	48

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Longsor adalah salah satu bencana alam yang sering terjadi di Indonesia. Hal ini disebabkan oleh banyaknya daerah dengan permukaan miring, seperti daerah perbukitan atau pegunungan. Salah satu wilayah di Indonesia yang memiliki potensi untuk terjadi longsor adalah Ponorogo, yakni mulai bulan November 2016 sampai April 2017 terjadi beberapa bencana longsor di wilayah Kabupaten Ponorogo baik longsor dengan skala ringan maupun berat, contohnya di Jalan Raya Trenggalek-Ponorogo KM-23. Bencana longsor menyebabkan banyak kerugian, baik kerugian finansial maupun kerugian material. Kerugian tersebut dapat diminimalisir dengan cara melakukan antisipasi terhadap bencana longsor, yakni dengan cara mengetahui nilai potensi terjadinya longsor. Potensi tanah longsor dapat diketahui dengan cara mengidentifikasi bawah permukaan tanah pada tempat tersebut.

Identifikasi bawah permukaan tanah akan memberikan informasi parameter fisika batuan. Informasi tersebut diperlukan untuk mengetahui nilai potensi longsor di suatu wilayah. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengetahui parameter batuan ialah *Very Low Frequency-Electromagnetic* (VLF-EM). Metode ini bersifat pasif dengan memanfaatkan pancaran gelombang radio sehingga pemancar VLF-EM akan menginduksi sistem pelapisan bumi yang bersifat konduktif seperti lapisan batuan beku dan patahan (Sharma et al., 2014). Perubahan komponen medan magnet akibat variasi konduktivitas dimanfaatkan untuk menentukan struktur bawah permukaan.

Salah satu penyebab utama terjadinya longsor adalah hujan dengan prosentase sebesar 52% (Sassa et al., 2015). Dimana fluida yang terserap tanah atau batuan akan menyebabkan meningkatkan kejenuhan air daerah tersebut. Daerah dengan tanah yang

tersaturasi fluida akan memiliki potensi besar terjadinya longsor. Selain informasi parameter fisika batuan berdasarkan konduktifitasnya penting juga untuk mengetahui aliran fluida dalam tanah. Metode yang digunakan untuk menganalisa aliran fluida bawah tanah secara akurat adalah *Self Potential* (SP). Metode SP merupakan metode geofisika yang bersifat pasif karena prinsip kerja metode SP adalah mengukur tegangan statis alam (*static natural voltage*) di permukaan tanah (Saracco et al., 2004). Perbedaan tegangan pada permukaan tanah disebabkan oleh adanya proses fisika maupun kimia yang terjadi dibawah permukaan tanah sehingga dapat dilakukan pengukuran beda potensial yang terjadi.

Oleh karena itu, dengan menggabungkan metode VLF-EM dan SP dapat dilakukan analisa bawah permukaan tanah dan aliran fluida dalam tanah secara akurat. Sehingga hasil interpretasi yang didapat akan dapat digunakan untuk identifikasi nilai potensi tanah longsor khususnya di daerah Jalan Raya Trenggalek-Ponorogo KM-23.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, permasalahan yang dirumuskan dalam penelitian ini antara lain:

1. Bagaimana cara mengetahui nilai potensi tanah longsor dengan mengintegrasikan metode VLF-EM dan metode SP?
2. Bagaimana menentukan model bawah permukaan dan arah aliran fluida pada daerah penelitian dengan mengintegrasikan metode VLF-EM dan metode SP?

1.3 Batasan Masalah

Terdapat beberapa batasan masalah pada penelitian ini, antara lain:

1. Penelitian ini dilakukan di sekitar jalan raya Trenggalek-Ponorogo KM-23 tepatnya di Desa Pangkal, Kecamatan Sawoo Kabupaten Ponorogo.

2. Menentukan model bawah permukaan dan arah aliran fluida pada daerah penelitian dengan menggunakan metode VLF-EM dan SP.
3. Analisis data SP menggunakan metode *Continuous Wavelet Transform* (CWT).
4. Filter yang digunakan untuk metode VLF-EM adalah Filter NA-MEMD.

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah diatas, maka tujuan dari penelitian ini antara lain:

1. Mengetahui nilai potensi tanah longsor dengan mengintegrasikan metode VLF-EM dan metode SP.
2. Menentukan model bawah permukaan tanah dan arah aliran fluida pada daerah penelitian dengan mengintegrasikan metode VLF-EM dan metode SP.

1.5 Manfaat penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi tentang gambaran bawah permukaan tanah dan arah aliran fluida berdasarkan hasil model inversi dengan menggunakan metode VLF-EM dan metode SP. Serta dapat mengidentifikasi nilai potensi longsor pada daerah jalan Raya Treanggalek-Ponorogo KM-23. Sehingga hasil penelitian ini diharapkan dapat dijadikan sebagai salah satu rujukan masyarakat dalam upaya mitigasi bencana longsor.

1.6 Sistematika penulisan

Sistematika penulisan pada laporan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

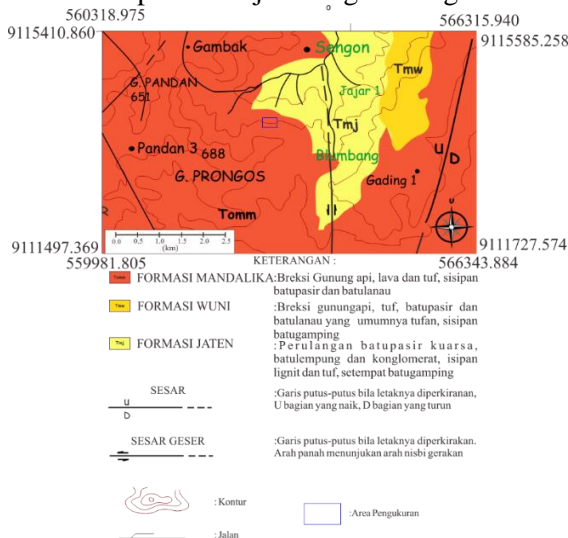
1. BAB I – Pendahuluan, berisi tentang latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian dan sistematika penelitian tugas akhir.
2. BAB II – Tinjauan Pustaka, berisi uraian teori yang mendukung penelitian tugas akhir.

3. BAB III – Metodologi Penelitian, berisi tentang uraian alat dan bahan, data penelitian, *software* yang digunakan serta metode dan tahapan yang dilakukan selama penelitian.
4. BAB IV – Analisa Data dan Pembahasan, berisi hasil yang diperoleh dari penelitian ini.
5. BAB V – Kesimpulan, berisi kesimpulan dari hasil analisa pada penelitian yang telah dilakukan serta saran-saran untuk mendukung penelitian selanjutnya.
6. Lampiran, berisi data-data yang digunakan dalam penelitian beserta beberapa gambar yang menunjang penelitian.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Geologi Daerah Ponorogo

Penelitian tugas akhir ini dilakukan di Desa Pangkal Kecamatan Sawoo Kabupaten Ponorogo pada daerah lereng Jalan Raya Ponorogo-Trenggalek KM-23. Kondisi geografis desa tersebut berupa dataran tinggi dengan lereng dan tanah miring, sehingga sangat rawan terjadi tanah longsor. Daerah ini memiliki nilai elevasi yang tinggi dengan rata-rata elevasi sebesar ± 410 m, dengan bidang miring lereng dan bidang gelincir lereng yang cukup curam. Lereng tersebut merupakan campuran antara pemukiman penduduk dengan kebun. Secara fisik pada daerah ini sangat mudah ditemui rekahan-rekahan pada permukaan tanah dengan persebaran rekahan wilayah lereng cukup luas. Retakan ini menyebabkan retak pada dinding rumah warga dan jalan. Daerah ini juga telah beberapa kali terjadi longsor dengan skala kecil.



Gambar 2.1 Peta Geologi Daerah Penelitian (dimodifikasi dari Sampurno, 1997).

Dari Gambar 2.1 dapat diketahui daerah penelitian merupakan Formasi Mandalika yang terdiri dari batuan breksi gunung api, lava dan tuf serta sisipan batupasir dan batulanau. Pada jarak ± 2 km di sebelah timur daerah penelitian terdapat sesar geser.

2.2 Longsor (*Landslide*)

Longsor (*landslide*) merupakan salah satu peristiwa geologi yang ditunjukkan dengan adanya pergerakan masa batuan, tanah serta bahan lain penyusun struktur lapisan tanah menuruni bidang miring (lereng) dengan jumlah yang relatif besar. Sebagai contoh longsor kecil pada Gambar 2.2 yang terjadi di daerah penelitian (Ponorogo).



Gambar 2.2 Longsor kecil yang terjadi di daerah penelitian

Umumnya longsor terjadi di daerah perbukitan atau pegunungan yang memiliki kemiringan tertentu dan tersusun oleh batuan yang berasal dari endapan gunung api dan batuan sedimen yang berukuran pasir dan campuran antara pasir, kerikil dan lempung yang kurang kuat, sehingga dengan mudah akan mengalami proses pelapukan. Batuan tersebut merupakan batuan yang mudah tersaturasi fluida, semakin besar kemampuan batuan yang tersaturasi fluida semakin kecil gaya ikat antar butir. Hal ini

menyebabkan adanya energi getaran yang merambat dalam tanah sehingga menyebabkan tanah bergerak menuruni lereng. Selain itu longsor juga dapat terjadi akibat curah hujan yang tinggi, erosi dekat sungai, curah hujan yang tinggi yang menyebabkan meningkatnya posisi muka air tanah secara cepat (*rapid drawdown*), aktivitas gerakan tanah akibat gempa bumi, perubahan penggunaan lahan (kegiatan manusia) (Sassa et al., 2015).

Berdasarkan tipe gerakan tanah dan material jatuhnya longsor dibedakan menjadi beberapa jenis, yaitu (Sassa et al., 2015):

- *Slide*, adalah bergerakanya massa tanah dan batuan pada bidang gelincir.
- *Fall*, adalah gerakan spontan dari bongkahan batu yang jatuh dari lereng atau tebing yang curam.
- *Topples*, adalah gerakan batuan yang berputar kedepan pada satu titik sumbu yang disebabkan oleh gravitasi dan kandungan air pada rekahan batuan tersebut.
- *Flow*, adalah gerakan campuran batuan dan material penyusun lapisan lainnya yang bergerak mengalir.
- *Lateral spreads*, adalah gerakan yang terjadi pada lereng yang landai atau medan datar dengan gerakan menyambung atau meluas.

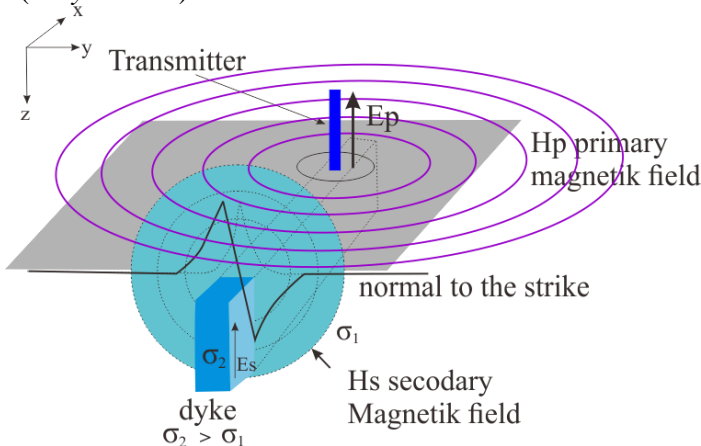
2.3 Very Low Frequency Electromagnetic (VLF-EM)

VLF-EM merupakan salah satu metode geolistrik yang paling sederhana untuk mendapatkan interpretasi struktur bawah permukaan (Sharma et al., 2014). Prinsip kerja metode ini adalah memanfaatkan medan elektromagnetik yang dipancarkan oleh pemancar radio. Pemancar tersebut berfrekuensi rendah berkisar 15-30 kHz dengan panjang gelombang 10-20 km serta biasanya memiliki ketinggian 200-300 m, sehingga dalam perambatannya mengalami penyebaran sebagai gelombang *ground* yang mengikuti bentuk permukaan bumi (Hunsucker, 2009). Daya pancar radio tersebut (Waatts, 1978):

$$P = 7 \times 10^{-13} V^2 C^2 h_e^2 f^4 \quad (2.1)$$

Dimana V adalah tegangan yang melewati antenna, C kapasitansi antenna, h_e ketinggian efektif dan f adalah frekuensi.

Metode VLF-EM memanfaatkan gelombang hasil induksi elektromagnet yang merambat antara permukaan bumi dan ionosfer. Batuan konduktif dalam bumi menjadi medium yang terinduksi gelombang elektromagnet primer. Dari proses ini menghasilkan arus induksi yang biasa disebut dengan arus eddy atau (*eddy current*).



Gambar 2.3 Distribusi medan EM untuk metode VLF dalam polarisasi listrik dengan sinyal diatas sebuah dike konduktif vertikal (diambil dan digambar ulang dari Wijaya, 2014)

Prinsip kerja metode VLF-EM dapat dilihat pada Gambar 2.3, dimana *transmitter* yang dilewati arus AC menghasilkan medan elektromagnet, yang terdiri dari medan listrik yang dirambatkan secara vertikal (E_p) dan medan magnet yang merambat secara horizontal (H_p). Batuan konduktif yang ada dalam bumi akan terinduksi oleh komponen magnetik yang menghasilkan arus eddy. Arus ini akan menghasilkan medan magnet sekunder yang akan terekam oleh penerima. Namun, penerima akan

merekam gelombang elektromagnet primer maupun sekunder dengan fase dan amplitudo yang berbeda (Indriyani, 2014).

Nilai medan magnet sekunder bergantung pada nilai resistivitas batuan yang dilewati. Secara fisis medan elektromagnet yang merambat pada batuan yang konduktif mengacu pada persamaan Maxwell dalam domain frekuensi sebagai berikut:

$$\nabla \times H = (\sigma + i\omega \epsilon) E \quad (2.2)$$

$$\left(\frac{\partial H_z}{\partial y} - \frac{\partial H_y}{\partial z} \right) i + \left(\frac{\partial H_x}{\partial z} - \frac{\partial H_z}{\partial x} \right) j + \left(\frac{\partial H_y}{\partial x} - \frac{\partial H_x}{\partial y} \right) k = (\sigma + i\omega \epsilon) (E_x i + E_y j + E_z k) \quad (2.3)$$

$$\nabla \times E = -(i\omega \mu) \quad (2.4)$$

$$\left(\frac{\partial E_z}{\partial y} - \frac{\partial E_y}{\partial z} \right) i + \left(\frac{\partial E_x}{\partial z} - \frac{\partial E_z}{\partial x} \right) j + \left(\frac{\partial E_y}{\partial x} - \frac{\partial E_x}{\partial y} \right) k = -i\omega \mu (H_x i + H_y j + H_z k) \quad (2.5)$$

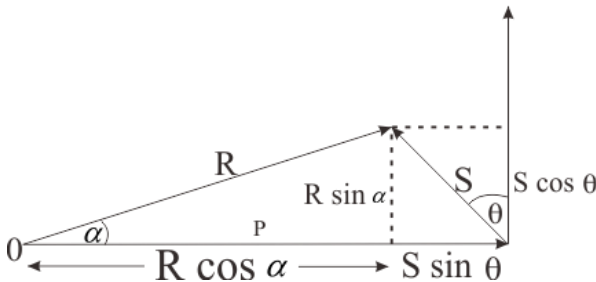
Dimana σ adalah konduktifitas listrik (ohm/m), μ permeabilitas (H/m) dan ω frekuensi sudut.

Dalam penjalarannya gelombang elektromagnetik dianggap sebagai gelombang miring terhadap permukaan bumi pada bidang y-z arah sumbu z. Maka Persamaan (2.2) dan Persamaan (2.4) pada 2D pada turunan pertama komponen x akan bernilai 0. Sehingga dapat diuraikan dalam bentuk *Transverse Electric* (TE) Persamaan (2.6) dan *Transverse Magnetic* (TM) pada Persamaan (2.7) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \frac{\partial H_z}{\partial y} - \frac{\partial H_y}{\partial z} &= (\sigma + i\omega \epsilon) E_x \\ \frac{\partial E_x}{\partial z} &= -i\omega \mu H_y \\ \frac{\partial E_x}{\partial y} &= i\omega \mu H_z \end{aligned} \quad (2.6)$$

$$\begin{aligned}
\frac{\partial E_z}{\partial y} - \frac{\partial E_y}{\partial z} &= (\sigma + i\omega \epsilon) H_x \\
\frac{\partial H_x}{\partial z} &= (\sigma + i\omega \epsilon) E_y \\
\frac{\partial H_x}{\partial y} &= (\sigma + i\omega \epsilon) E_z
\end{aligned}
\tag{2.7}$$

Penjalaran gelombang pada alat VLF umumnya dalam mode TE (Fikri, 2017). Hasil pada alat VLF berupa triper (H_z/H_y) yang mempunyai bilangan kompleks akibat polarisasi antara H_z dan H_y yang berbentuk *ellips* atau lingkaran bergantung besaran dari H_z dan H_y . Berbentuk *ellips* jika H_z dan H_y mempunyai nilai besar yang tidak sama, sebaliknya berbentuk lingkaran apabila mempunyai nilai yang sama. Kombinasi medan primer sefase medan sekunder atau dengan kata lain “*real data triper*” disebut dengan *inphase*, sedangkan medan magnet primer berbeda fase dengan medan magnet sekunder dengan kata lain “*imaginer*” disebut dengan *quadrature*. Data triper bernilai bagus apabila digunakan untuk memetakan perbedaan konduktivitas secara lateral dan kurang bagus jika digunakan untuk memetakan perbedaan konduktivitas secara vertikal.



Gambar 2.4 Hubungan fase gelombang primer dan sekunder (diambil dan digambar ulang dari Indriyani, 2014)

Gambar 2.4 merupakan gelombang primer elektromagnet menginduksi benda bawah permukaan dan menghasilkan gaya gerak listrik induksi (GGL). GGL induksi e_s akan muncul dengan

frekuensi yang sama tetapi mengalami ketinggalan fase 90° (Kaikkonen, 1979). *Inphase* merupakan kombinasi antara medan magnet primer dan medan magnet sekunder ($R \cos \alpha$) dan komponen yang tegak lurus ($R \sin \alpha$) disebut dengan *Quadrature*.

2.4 Self Potential (SP)

Self Potential (SP) juga merupakan salah satu metode pengukuran geofisika yang termasuk dalam geolistrik. Metode ini bersifat pasif karena prinsip kerja metode SP adalah mengukur tegangan statis alam (*static natural voltage*) di permukaan tanah (Saracco et al., 2004). Potensial yang terukur pada permukaan bumi dapat bernilai kurang dari 1 milivolt (mV) sampai 1 volt dengan tanda positif atau negatif. Setiap batuan memiliki sifat potensial alami yang umumnya terjadi akibat adanya reaksi serta proses kimia seperti potensial *liquid-junction*, potensial *shale (ernst)*, dan potensial mineralisasi (Telford et al., 1990).

Tabel 2.1 Sumber dan Tipe Anomali SP (Reynolds, 1997)

Sumber	Tipe Anomali
Potensial Mineral	
Bijih sulfida (pyrite, chalcopyrite, pyrrhotite, sphalerite, galena)	Negatif \approx ratusan mV
Bijih grafit	
Magnet+mineral konduktor listrik lainnya	
Coal	
Batu kawi/mangan	
Batuan kwarsa	Positif \approx puluhan mV
Pegmatit	
<i>Background potential</i>	
Aliran fluida, reaksi geokimia dan lainnya	Positif atau negatif \leq 100 mV
Bioelektrik (tumbuhan, pepohonan)	Negatif \leq 300 mV
Pergerakan air tanah	Positif atau negatif hingga ratusan mV
Topografi	Negatif hingga 2mV

Nilai *self potensial* berhubungan dengan debit aliran fluida serta kandungan elektrolit. Dimana nilai *self potential* berbanding lurus dengan debit aliran fluida dan kandungan elektrolit. Artinya jika debit aliran fluida dan kandungan elektrolit besar maka nilai *self potensial* akan besar (Reynolds, 1997). Tabel 2.1 merupakan tabel yang menunjukkan sumber dan tipe anomali data *self potential*.

2.4.1 Tipe-Tipe Self Potential (SP)

Berdasarkan penyebabnya *self potensial* terbagi menjadi beberapa tipe, yaitu:

- Potensial elektrokinetik

Potensial elektrokinetik merupakan potensial yang terbentuk akibat adanya pergerakan elektrolit yang berupa aliran fluida di dalam tanah melalui celah pori atau kapiler yang menyebabkan terjadinya pertukaran ion antara fluida dengan partikel dalam struktur tersebut. Proses ini akan menghasilkan nilai potensial yang digolongkan sebagai *electofiltration* atau *streaming potential*. Potensial elektrokinetik mempunyai perbedaan nilai gradien tegangan, konduktivitas fluida, viskositas fluida, dan potensial elektrik diantara dua lapisan (padat dan cair). Hal ini akan mengakibatkan nilai efek anomali dari potensial elektrokinetik rendah (negatif). Hukum Helmholtz pada Persamaan (2.12) menunjukkan bahwa aliran listrik dapat terjadi karena adanya gradient hidrolik dan kuantitas yang disebut kopling elektrofiltrasi (CE), dimana dapat menjelaskan sifat fisis dan kelistrikan dari elektrolit dan jaringan medium elektrolit yang terlewati. Nilai potensial dapat meningkat menjadi positif dengan arah aliran fluida sebagai muatan listrik yang berlawanan.

$$\Delta V = \frac{\zeta \varepsilon}{\mu \sigma_w} \Delta P \quad (2.12)$$

Dengan ΔV merupakan potensial elektrokinetik (mV), ζ merupakan potensial antar *layer*, ε merupakan konstanta dielektrik, μ merupakan dinamika viskositas dari tanggapan elektrolit, σ_w

merupakan konduktifitas fluida dan ΔP merupakan perbedaan tekanan (Nm^2) (Fagerlund and Heinson, 2003).

- Potensial Difusi

Potensial difusi merupakan nilai potensial yang disebabkan oleh adanya konsentrasi elektrolit dalam tanah yang bervariasi secara lokal, dan sebagai akibat dari perbedaan mobilitas anion-kation dalam konsentrasi larutan yang berbeda. potensial difusi dapat dihitung melalui Persamaan (2.13)

$$E_d = \frac{RT(I_a - I_c)}{nF(I_a + I_c)} \ln \left(\frac{c_1}{c_2} \right) \quad (2.13)$$

Dengan I_a dan I_c merupakan pergerakan dari anion (+ve) dan kation (-ve) secara berturut-turut, R merupakan konstanta gas dengan nilai $8,314 \text{ JK}^{-1}\text{mol}^{-1}$, T merupakan temperatur absolut (K), n merupakan valensi ion, F merupakan konstanta Faraday 9487 Cmol^{-1} , serta c_1 dan c_2 merupakan konstanta larutan.

- Potensial *Nernst*

Potensial *Nernst* merupakan nilai beda potensial akibat adanya perbedaan potensial antara dua logam identik yang dicelupkan dalam larutan homogen tetapi konsentrasi larutan setiap elektroda berbeda. Dimana besar nilai potensial berbanding lurus dengan temperatur dan konsentrasi. Hal ini menunjukkan bahwa metode SP baik digunakan dalam eksplorasi geotermal. Persamaan untuk mendapatkan potensial *Nernst* sama dengan persamaan potensial difusi namun dengan syarat $I_a = I_c$, sebagaimana ditunjukkan oleh Persamaan (2.14)

$$E_s = \frac{RT}{nF} \ln \left(\frac{c_1}{c_2} \right) \quad (2.14)$$

- Potensial Mineralisasi

Hasil penelitian Sato dan Mooney (1960) menyatakan bahwa dalam tubuh mineral terjadi reaksi setengah sel elektrokimia dengan anoda berada dibawah air tanah. Pada anoda terjadi reaksi oksidasi, sehingga anoda akan menjadi sumber arus sulfida yang

berada di permukaan tanah. Sulfida akan mengalami oksidasi dan reduksi yang disebabkan oleh H_2O dan O_2 dalam tanah.

Elektron ditransfer melalui tubuh mineral dari pereduksi yang terdapat dibawah permukaan air tanah menuju pengoksidasian di atas muka air tanah (dekat permukaan). Tubuh mineral tidak berperan secara langsung dalam reaksi elektrokimia namun bertindak sebagai konduktor yang mentransfer elektron. Perpindahan elektron ini disebut sebagai *streaming drift* (Telford,1990). Sehingga prinsip dasar dari potensial mineralisasi adalah nilai potensial akan muncul jika kondisi lingkungan didukung oleh adanya proses elektrokimia di bawah permukaan tanah.

2.4.2 Metode Pengukuran Metode SP

Umumnya pengukuran *Self Potential* menggunakan dua buah elektroda (*porous pot*). Namun, berdasarkan fungsi waktu dan posisi dari elektroda metode pengukuran SP terbagi menjadi 2 jenis yaitu *Leap Frog* dan *Fix Base*. Metode *Leap Frog* atau metode gradien potensial merupakan metode dimana kedua buah elektroda yang digunakan berpindah-pindah dengan jarak yang tetap. Pengukuran ini dilakukan dengan saling melompati posisi antar elektroda (seperti gerakan katak melompat), dengan posisi dan spasi yang telah ditentukan dalam lintasan survey dan titik pengamatan berada diantara kedua elektroda. Sehingga nilai potensial yang terukur pada satu titik ukur akan saling berkaitan dengan titik ukur didekatnya. Sedangkan metode *Fix Base Station* atau metode amplitudo potensial menggunakan dua elektroda, dimana satu elektroda ditempatkan sebagai base sedangkan yang elektroda yang lain berpindah-pindah sepanjang lintasan dengan jarak tetap.

Metode *Fix Base Station* mempunyai kelebihan pada tingkat kesalahan yang diakibatkan pengambilan data bernilai lebih kecil dan mengurangi kemungkinan pemetaan anomali yang sangat mencolok dengan menggunakan panjang gelombang pendek, sedangkan kelemahannya adalah membutuhkan bentangan kabel yang panjang (Davydov, 1961).

2.5 Continuous Wavelet Transform (CWT)

Transformasi *wavelet* merupakan metode dengan prinsip analisa sinyal yang dapat digunakan untuk mengkarakterisasi sinyal frekuensi-waktu (posisi) dan menganalisa diskontinuitas (*extrema*) atau perubahan spontan pada domain ruang dan waktu. Data self potensial dapat dianalisa menggunakan *wavelet* kompleks yaitu turunan dari Poisson kernel family yang dikembangkan untuk mengetahui sumber medan potensial dan sebagai dasar dari kombinasi teori *wavelet* dan sifat dilasi dari persamaan Laplace. Dimana *Continuous Wavelet Transform* (CWT) merupakan dasar yang digunakan untuk *Multi-scale Wavelet Tomography* (MWT) (Mauri et al., 2010).

Metode CWT merupakan metode analisa sinyal yang dapat digunakan untuk menentukan karakter serta lokasi diskontinuitas (*extrema*) atau perubahan spontan dari sinyal terukur (Mauri et al., 2010). Prinsip kerja CWT dengan mengubah beberapa sinyal menjadi sebuah matriks yang merupakan penjumlahan skalar dari persamaan Fourier. CWT dapat digunakan untuk menentukan kedalaman dengan cara menghubungkan garis *extrema* minimum dan maksimum (amplitudo koefisien *wavelet*) dari beberapa analisis *wavelet* yang berbeda dimana nantinya dari penggabungan tersebut akan mendapatkan titik potong. Titik tersebut diindikasikan sebagai kedalaman anomali. Identifikasi kedalaman dilakukan dengan mengkombinasikan 4 turunan dari *wavelet real* atau *imaginary*. Kombinasi turunan dari *wavelet real* atau *imaginary* adalah kombinasi turunan *wavelet* secara horizontal dan vertikal. Analisis kedalaman menggunakan CWT dapat dilakukan dengan mencocokkan sinyal berdasarkan dengan karakteristik amplitudo dan frekuensi yang terbaca untuk turunan *wavelet*.

Transformasi *wavelet* sinyal singularitas (s) pada keadaan homogen didapat melalui Persamaan (2.15)

$$L_{(b,a)}s = a^{-n} \int g\left(\frac{r-b}{a}\right)s(r)dr^n \quad (2.15)$$

Dengan $n \geq -(1 + \alpha)$, b parameter translasi dan α parameter dilasi. Untuk persamaan *wavelet*, dasar dari turunan horizontal orde ke- n dari Poisson Kernel Family dapat dinyatakan secara matematis pada Persamaan (2.16)

$$H_n(u) = (2\pi u)^n \exp(-2\pi|u|) \quad (2.16)$$

Dengan u merupakan tranformasi Fourier dalam jarak x dan dalam domain frekuensi. Untuk persamaan wavelet dasar dari turunan vertikal orde ke- n dari *Poisson kernel family* dapat dinyatakan pada Persamaan (2.17)

$$V_n(u) = -2\pi|u|(2\pi u i)^{n-1} \exp(-2\pi|u|) \quad (2.17)$$

Dengan i merupakan *imaginer*. Untuk persamaan CWT dengan *range* nilai parameter dilasi ($\alpha_{\min} < \alpha < \alpha_{\max}$) secara matematis dapat dinyatakan melalui Persamaan (2.18)

$$W_{(b,a)}(L, s) = \int_{\alpha_{\min}}^{\alpha_{\max}} L_{(b,a)} s da \quad (2.18)$$

Hasil dari Persamaan 18 merupakan koefisien matriks korelasi. Matriks korelasi tersebut menggambarkan daerah bawah permukaan. Dengan setiap sumber dapat diasumsikan sebagai singularitas (anomali) yang didapatkan dari penggabungan 2 atau lebih garis *extrema* (minimal dan maksimal).

BAB III METODOLOGI

3.1 Peralatan dan Bahan Penelitian

Peralatan dan bahan yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini antara lain:

- Data yang didapat dengan menggunakan metode SP dan metode VLF-EM yang akan diolah sehingga dapat mengetahui kondisi bawah permukaan tanah.
- Software Ms. Excel digunakan untuk menganalisa data sebelum dilakukan proses filtering.
- Software Matlab2015a digunakan untuk proses filter NA-MEMD data VLF-EM dan proses inversi data SP dengan algoritma VSFA.
- Software inv2DVLF digunakan untuk membuat model nilai resistivitas 2D dan Rockworks16 untuk plot 3D.

3.2 Prosedur Kerja

Alur pada penelitian ini ditampilkan oleh Gambar 3.2 yang dapat diuraikan sebagai berikut:

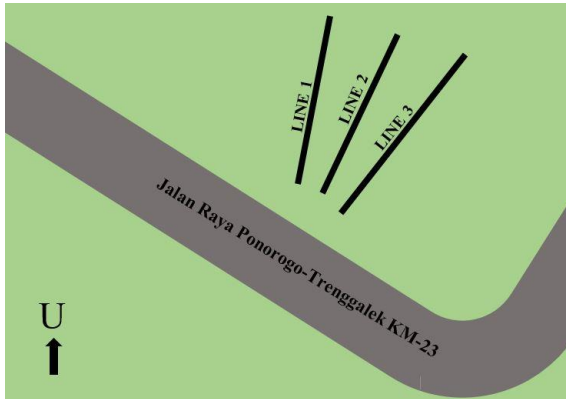
3.2.1 Studi Literatur

Studi literatur merupakan tahap awal untuk melakukan sebuah penelitian. Dalam tahap ini perlu memahami tentang konsep dari penelitian yang dilakukan dengan mencari referensi seperti buku, jurnal, tugas akhir ataupun thesis terkait penelitian. Penelitian ini perlu memahami tentang konsep VLF-EM dan SP meliputi akuisisi data, pengolahan, berbagai macam koreksi, *filtering* dan inversi.

3.2.2 Survey Awal

Sebelum melakukan akuisisi data dengan berbagai macam metode perlu dilakukan survey awal. Pada tahap ini biasanya dilakukan observasi di daerah yang akan menjadi tempat penelitian yang meliputi peta geologi dan kondisi geologi. Hal ini sangat dibutuhkan baik untuk menentukan titik-titik ukur dan sebagai informasi tambahan untuk analisa hasil. Posisi pengambilan data

pada penelitian ini ditampilkan sebagaimana Gambar 3.1 yaitu pada line 1, line 2 dan line 3. Daerah pengambilan data merupakan daerah persawahan, dimana terdapat retakan-retakan pada permukaan tanah.



Gambar 3.1 Lintasan pengambilan data VLF-EM dan SP

3.2.3 Akuisisi Data Metode VLF-EM dan Metode SP

Tahap berikutnya adalah akuisisi data dengan metode SP dan metode VLF-EM. Dalam tahap ini dilakukan pengukuran dan pengambilan data dengan kedua metode yang digunakan dalam penelitian ini. Pada saat pengukuran di lapangan, langkah pertama yang harus dilakukan adalah *scanning* stasiun VLF-EM, dengan syarat antena harus selalu menghadap ke arah Utara. Dalam pencarian stasiun, frekuensi yang diterima oleh alat *console* VLF-EM haruslah antara 15-25 kHz, setelah itu dicatat frekuensi 1 hingga frekuensi 3. Langkah kedua, dilakukan perekaman data VLF-EM. Data yang terekam pada alat VLF salah satunya berupa data *Inphase* dan *Quadrature*. Pada setiap titik pengukuran sebaiknya mungkin dilakukan pengulangan, agar nilai yang terbaca pada alat tidak jauh berbeda di setiap titik pengukuran. Apabila masih terdapat nilai yang *range*-nya terlalu jauh dari titik sebelumnya, kemungkinan terdapat anomali yang berada pada sekitar titik tersebut seperti adanya sungai, retakan, dan adanya instalasi listrik.

Sedangkan akuisisi data SP menggunakan metode *base*

station yang dimulai dari pengukuran beda potensial di *base station*, kemudian pengukuran dilanjutkan pada tiap lintasan yang disurvei. Pengukuran beda potensial di *base station* dilakukan selama akuisisi data berlangsung dan nilainya dicatat setiap 5 menit dengan jarak antar titik pengukuran 1 m. Kemudian waktu saat pengukuran nilai beda potensial juga dicatat. Hal tersebut diulangi untuk semua data di setiap lintasan pengukuran.

3.2.4 Pengolahan Data

3.2.4.1 Pengolahan Data VLF-EM

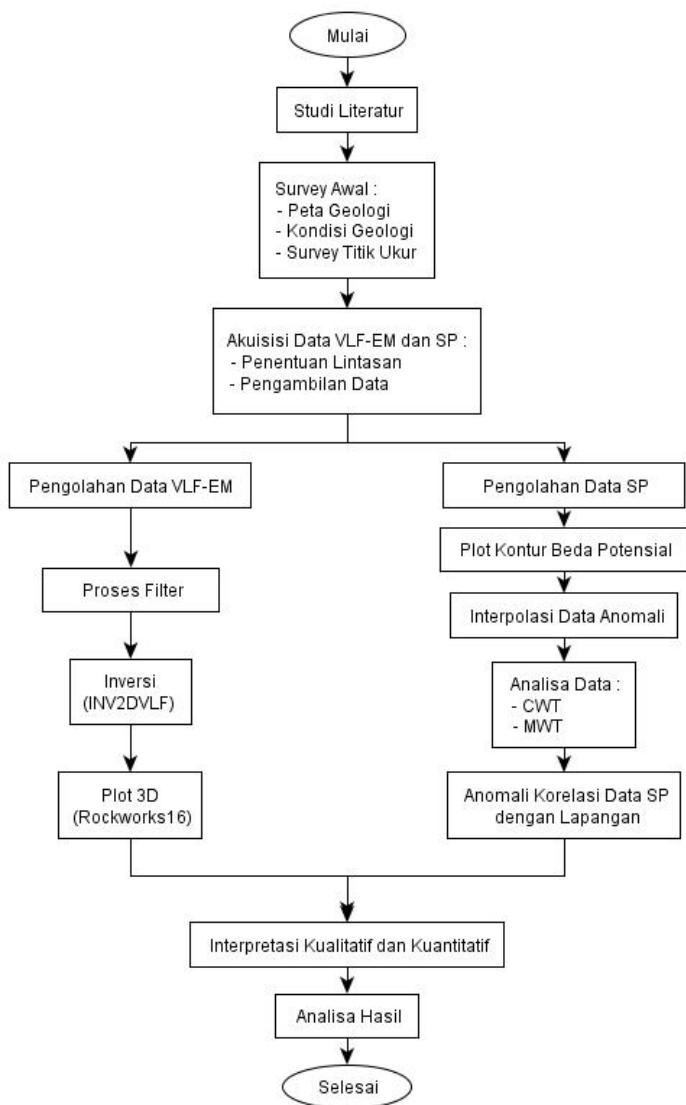
Tahap pertama pengolahan data VLF-EM dilakukan *filter fraser dan KHjelt* menggunakan *software* Matlab2015. Data *inphase* dan *quadrature* yang telah di-*filter* akan dilakukan tahap *inverse modeling* dengan menggunakan *software* INV2DVLF untuk memodelkan nilai resistivitas 2D. Tahap terakhir pengolahan data VLF-EM adalah plot 3D dengan menggunakan *software* Rockworks16 setelah diketahui letak anomali sebagai fungsi kedalaman.

3.2.4.2 Pengolahan Data SP

Pengolahan data SP dimulai dengan melakukan beberapa koreksi diantaranya koreksi harian, koreksi referensi dan koreksi klosur. Selanjutnya dengan menggunakan *software* Matlab2015 hasil koreksi klosur dilakukan interpolasi agar dapat dilakukan analisa CWT dan MWT. Tahap terakhir adalah mencocokkan anomali korelasi data SP dengan lapangan.

3.2.5 Interpretasi Kualitatif dan Kuantitatif

Tahap inversi adalah untuk membuat model nilai resistivitas 2D menggunakan data *inphase* dan *quadrature* yang sudah dikoreksi maupun difiltrasi dari proses sebelumnya. Inversi untuk data SP menggunakan CWT sedangkan untuk data VLF-EM menggunakan INV2DVLF. Dimana nantinya dapat diketahui letak anaomali dari masing-masing metode sebagai fungsi kedalaman. Sehingga pada tahap ini dapat diinterpretasikan secara kuantitatif.



Gambar 3.2 Diagram alir penelitian

BAB IV

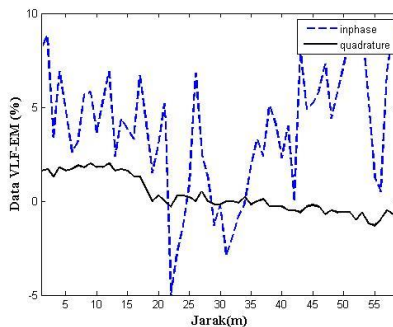
ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Pada BAB ini akan menjelaskan mengenai analisa data SP dan VLF-EM secara kualitatif dan kuantitatif serta mengenai hasil pengolahan yang telah didapat. Dimana pembahasan tersebut akan dikaitkan dengan kondisi lapangan yang ada di sekitar Jalan Raya Ponorogo-Trenggalek KM-23.

4.1 Analisa Data VLF-EM

4.1.1 Interpretasi Kualitatif

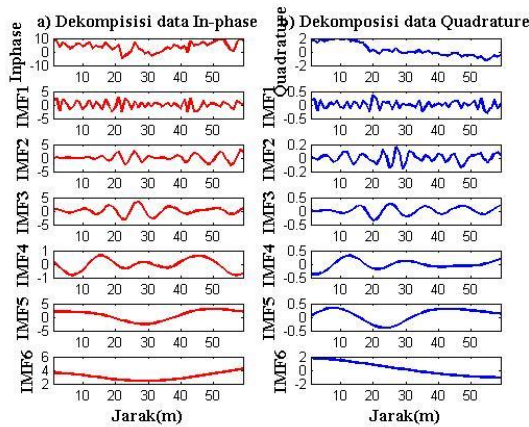
Pengukuran di lapangan menggunakan frekuensi 19.8 kHz dan data yang di dapat adalah data *real* (*inphase*), *imaginer* (*quadrature*), koordinat serta elevasi. Data *inphase* dan *quadrature* akan digunakan untuk inversi sedangkan data koordinat dan elevasi akan digunakan untuk *plotting*. Data VLF yang didapat saat pengukuran akan mempunyai *noise* yang dipengaruhi oleh radiasi medan elektromagnetik dari daerah sekitar lokasi pengukuran, misalnya variasi harian medan elektromagnetik bumi. Anomali VLF-EM terletak pada *zero-crossing* dari data *inphase* dan *quadrature*.



Gambar 4.1 Korelasi data *inphase* dan *quadrature* pada lintasan 1 sebelum dilakukan *filtering*

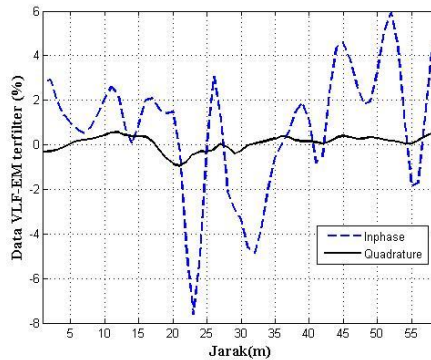
Gambar 4.1 merupakan data VLF yang terdiri dari *inphase* dan *quadrature* yang masih dipengaruhi *noise*, *zero-crossing* pada

gambar ini tidak jelas terlihat sehingga perlu dilakukan *filtering* dengan menggunakan algoritma NA-MEMD. Algoritma ini mampu menguraikan data *bivariate* kedalam beberapa mode dan mereduksi *noise*-nya secara bersamaan. Dimana data *multivariate* yang didapat pada pengukuran VLF (seperti pada Gambar 4.1) akan dipisahkan menjadi beberapa IMF (*Intrinsic Mode Function*). Sinyal hasil pembagian IMF ditunjukkan oleh Gambar 4.2.



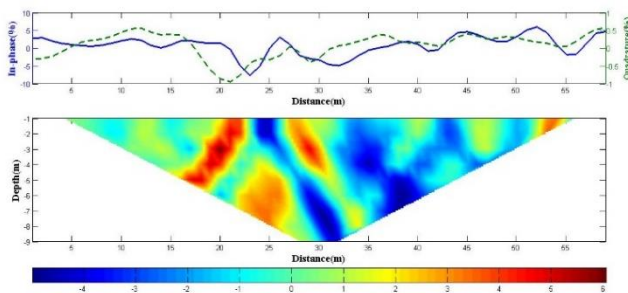
Gambar 4.2 Dekomposisi data inphase dan quadrature pada lintasan 1

Gambar 4.2 menunjukkan sinyal IMF dengan bilangan gelombang tinggi dan acak yang seringkali digambarkan sebagai *noise* (IMF1) sampai sinyal bilangan gelombang rendah yang digambarkan sebagai tren atau efek *drift* pada sinyal (IMF6). *Noise* yang mempengaruhi IMF1 dapat disebabkan oleh radiasi medan elektromagnet akibat lingkungan sekitar seperti adanya kabel listrik, *handphone*, dan masih banyak lagi. Sedangkan IMF6 merupakan frekuensi sisa yang dapat disebabkan oleh kelalaian alat atau *noise* dari lingkungan sekitar yang berfrekuensi rendah. Dari beberapa IMF yang terdapat pada Gambar 4.2 dipilih IMF yang akan menghilangkan *noise* dan efek *drift* pada data sehingga akan didapat gelombang hasil *filtering* dengan algoritma NA-MEMD sebagaimana digambarkan pada Gambar 4.3.

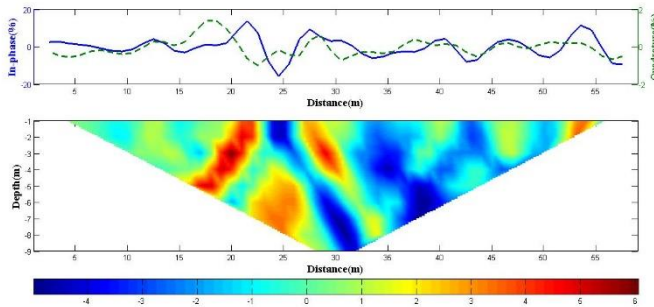


Gambar 4.3 Grafik data VLF-EM ter-*filter* pada lintasan 1

Gambar 4.3 menunjukkan hasil grafik data *inphase* dan *quadrature* yang lebih halus setelah *filtering* NA-MEMD. Dimana bilangan gelombang tinggi dan nilai residu pada data sudah tereduksi. Sehingga posisi anomali yang ditunjukkan oleh *zero-crossing* terlihat jelas sebagaimana ditunjukkan oleh anak panah merah pada gambar diatas. Seringkali anomali yang dihasilkan setelah *filter* NA-MEMD bukan merupakan anomali sebenarnya, namun ada anomali yang disebabkan oleh *noise* yang ada. Sehingga untuk menentukan letak anomali secara kualitatif perlu menggunakan filter tambahan yaitu filter Fraser dan Karous-HJelt.



Gambar 4.4 Grafik *Inphase* dan *Quadrature* lintasan 1 sebelum dilakukan *filter* Fraser



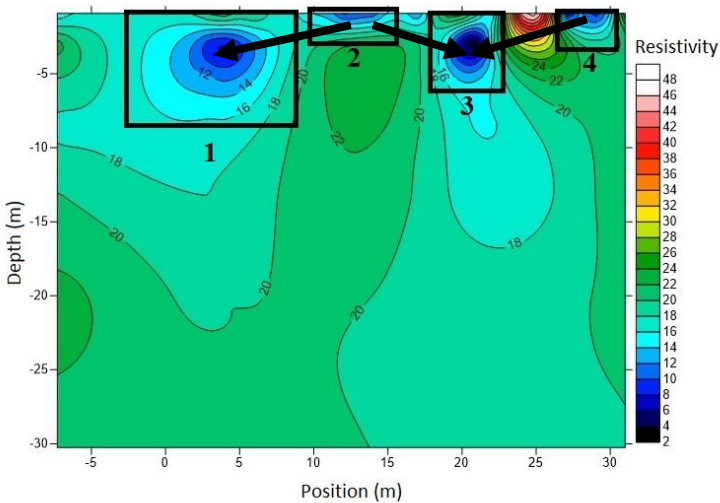
Gambar 4.5 Grafik *Inphase* dan *Quadrature* lintasan 1 sesudah dilakukan *filter* Fraser

Dalam menentukan anomali dengan menggunakan *filter* Fraser dapat diketahui berdasarkan kurva *inphase* dan *quadrature* sebagaimana kurva pada Gambar 4.4 dan Gambar 4.5. Gambar 4.4 menunjukkan kurva *inphase* dan *quadrature* sebelum dilakukan *filter* Fraser sedangkan Gambar 4.5 menunjukkan kurva *inphase* dan *quadrature* sesudah dilakukan *filter* Fraser. Terdapat dua jenis anomali yaitu anomali konduktif saat kurva *inphase* bernilai positif dan *quadrature* bernilai negatif serta anomali resistif saat kurva *inphase* bernilai negatif dan *quadrature* bernilai positif. Sedangkan hasil *filter* Karous-Hjelt menampilkan kontur 2D sebagaimana pada Gambar 4.4 dan Gambar 4.5 yang menunjukkan adanya anomali konduktif dan resistif sesuai dengan *filter* Fraser. Anomali konduktif ditunjukkan dengan nilai rapat arus tinggi (warna peta kontur merah) pada posisi 16-22 m. Sedangkan anomali resistif (warna peta kontur biru) dengan nilai rapat arus rendah pada posisi 24-30 m. Kedua *filter* ini juga mengidentifikasi anomali berdasarkan fungsi kedalaman namun berupa kedalaman semu.

4.1.2 Analisa Kuantitatif

Analisa kuantitatif pada penelitian ini diawali dengan proses inversi data *inphase* dan *quadrature* yang sudah di-*filter*. Tujuan proses ini adalah untuk mendapatkan informasi penting

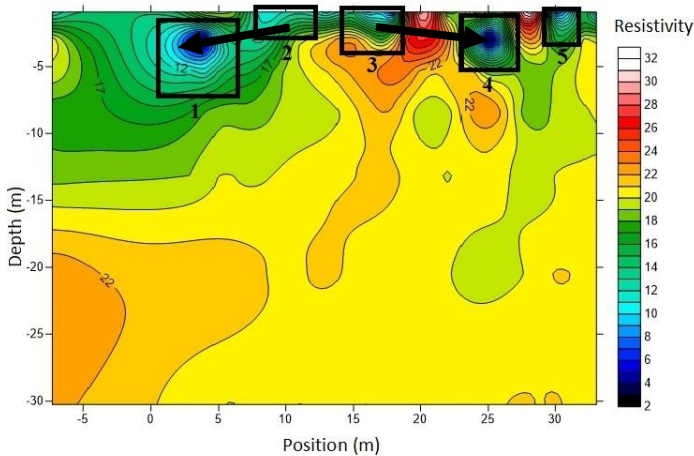
dalam mengetahui distribusi sifat fisis bawah permukaan (Supriyanto, 2007). Inversi dilakukan dengan menggunakan *software* Inv2DVLF yang berbasis *Finite Element Method* (Sungkono et al., 2014). Hasil yang didapat dari proses ini adalah FMODEL dengan parameter resistivitas. Dimana dengan menggunakan *software* surver11 akan didapat kontur 2 dimensi berdasarkan resistivitas.



Gambar 4.6 Hasil inversi data VLF-EM pada lintasan 1

Lintasan 1 dengan panjang 30 m dari arah tenggara ke arah barat laut dengan spasi antar titik pengambilan data 1 m. Gambar 4.6 merupakan kontur 2D (kedalaman dan posisi horizontal) dari lintasan 1 berdasarkan nilai dari resistivitas. Anomali VLF-EM ditandai dengan resistivitas rendah (konduktif) dimana pada gambar tersebut terdapat 4 anomali VLF-EM yang ditandai dengan gambar kotak. Anomali pertama berada pada jarak 2-6 m dari titik pengukuran dan pada kedalaman 2-3 m dengan nilai resistivitas $\pm 6-8 \Omega\text{m}$. Anomali kedua pada jarak 12-15 m dari titik pengukuran dan pada kedalaman 0-1 m dengan nilai resistivitas $\pm 8 \Omega\text{m}$. Anomali ketiga berada pada jarak 18-23 m dari titik pengukuran

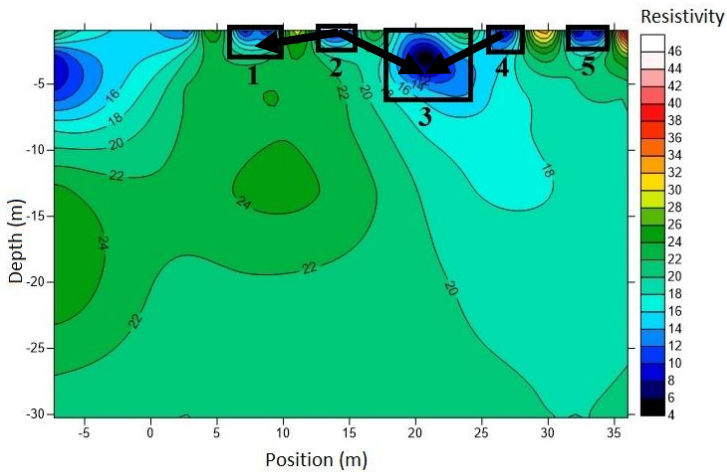
dan pada kedalaman 3-4 m dengan nilai resistivitas $\pm 2-8 \Omega\text{m}$. Anomali keempat berada pada jarak 28-30 m dari titik pengukuran dan pada kedalaman 0-1 m dengan nilai resistivitas $\pm 6-8 \Omega\text{m}$. Keempat anomali ini kemungkinan merupakan persebaran tanah yang tersaturasi fluida. Fluida mengalir dari anomali yang berada dekat dengan permukaan (anomali 2 dan 4) menuju titik anomali yang lebih dalam (anomali 1 dan 3). Aliran fluida pada titik-titik anomali ditunjukkan oleh panah hitam sebagaimana digambarkan pada Gambar 4.6.



Gambar 4.7 Hasil inversi data VLF-EM pada lintasan 2

Lintasan 2 dengan panjang 32 m terbentang dari arah selatan ke arah barat laut juga dengan spasi antar titik pengambilan data 1 m. Kontur 2D (kedalaman dan posisi horizontal) dari lintasan 2 berdasarkan nilai dari resistivitas ditunjukkan oleh Gambar 4.7. Terlihat ada lima Anomali yang terlihat pada lintasan 2 yang juga ditandai dengan kotak. Anomali pertama berada pada jarak 3-5 m dari titik pengukuran dan pada kedalaman 2-3,5 m dengan nilai resistivitas $\pm 2-6 \Omega\text{m}$. Anomali kedua berada pada jarak 9-13 m dari titik pengukuran dan pada kedalaman 0-3 m dengan nilai resistivitas $\pm 2-8 \Omega\text{m}$. Anomali ketiga berada pada

jarak 15-17 m dari titik pengukuran dan pada kedalaman 0-4 m dengan nilai resistivitas $\pm 4-8 \Omega\text{m}$. Anomali keempat berada pada jarak 25-27 m dari titik pengukuran dan pada kedalaman 2-4,5 m dengan nilai resistivitas $\pm 2-8 \Omega\text{m}$. Anomali kelima berada pada jarak 29-30 m dari titik pengukuran dan pada kedalaman 0-3 m dengan nilai resistivitas $\pm 6-8 \Omega\text{m}$. Kelima anomali pada lintasan 2 ini kemungkinan juga merupakan persebaran tanah yang tersaturasi fluida.

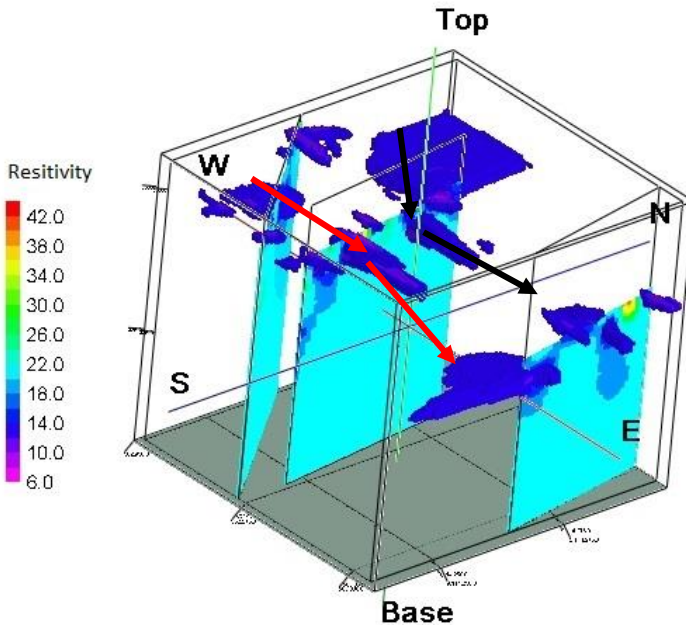


Gambar 4.8 Hasil inversi data VLF-EM pada lintasan 3

Lintasan 3 dengan panjang 35 m terbentang dari arah selatan ke arah utara juga dengan spasi antar titik pengambilan data 1 m. Kontur 2D (kedalaman dan posisi horizontal) dari lintasan 2 berdasarkan nilai dari resistivitas ditunjukkan oleh Gambar 4.8. Anomali yang terlihat pada lintasan 3 ada lima yang juga ditandai dengan kotak. Anomali pertama berada pada jarak 6-9 m dari titik pengukuran dan pada kedalaman 0-0,5 m dengan nilai resistivitas $\pm 8-10 \Omega\text{m}$. Anomali kedua berada pada jarak 14-15 m dari titik pengukuran dan pada kedalaman 0-1 m dengan nilai resistivitas $\pm 8-10 \Omega\text{m}$. Anomali ketiga berada pada jarak 18-23 m dari titik pengukuran dan pada kedalaman 3-4,5 m dengan nilai

resistivitas $\pm 4-8 \Omega\text{m}$. Anomali keempat berada pada jarak 26-28 m dari titik pengukuran dan pada kedalaman 0-1 m dengan nilai resistivitas $\pm 6-8 \Omega\text{m}$. Anomali kelima berada pada jarak 32-34 m dari titik pengukuran dan pada kedalaman 0-1 m dengan nilai resistivitas $\pm 6-8 \Omega\text{m}$. Begitupun juga untuk kelima anomali ini kemungkinan merupakan persebaran tanah yang tersaturasi fluida.

Hasil yang didapat dari proses inversi juga dapat dimodelkan 3D menggunakan *software* RockWorks16. Pemodelan 3D dilakukan dengan input nilai latitude, longitude, elevasi dan nilai resistivitas (dari proses inversi). Sehingga akan menghasilkan model 3D sebagaimana dihasilkan pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Hasil plot 3D persebaran fluida dan ketiga lintasan survey

Gambar 4.9 adalah hasil plot 3D ini yang menunjukkan penampang lintasan pengukuran data dan persebaran nilai resistivitas sekitar daerah penelitian. Nilai resistivitas rendah

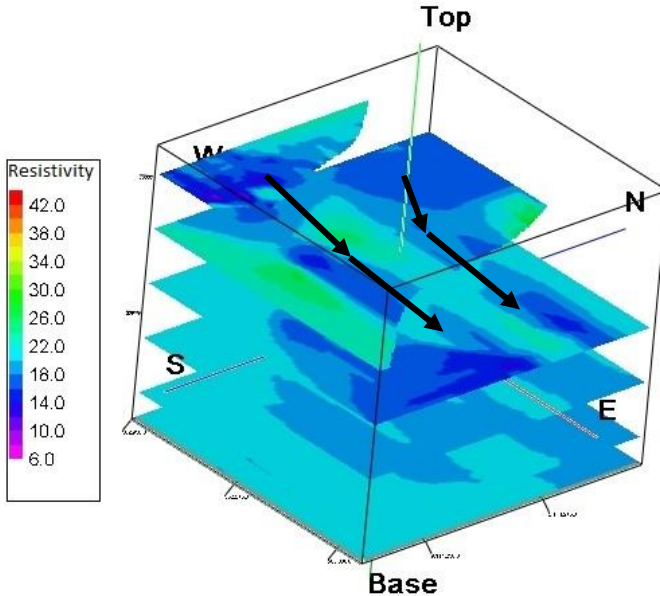
($\pm 6.0-14.0 \Omega m$) yang ditunjukkan oleh warna ungu hingga biru tua menunjukkan persebaran tanah yang tersaturasi fluida. Daerah penelitian merupakan bidang miring yaitu menurun dari arah barat ke arah timur. Sehingga pada model 3D yang didapat terlihat jelas bahwa fluida mengalir dari arah barat menuju timur seperti yang ditunjukkan oleh gambar panah merah dan panah hitam. Sesuai dengan kondisi dilapangan panah merah menunjukkan longsor yang terjadi di daerah tersebut sebagaimana pada Gambar 4.10, sedangkan panah hitam menunjukkan kemungkinan terjadinya longsor di daerah tersebut. Hal ini juga ditunjukkan dengan adanya retakan-retakan pada permukaan tanah di daerah penelitian.



Gambar 4.10 Longsor yang terjadi di daerah penelitian

Sedangkan Gambar 4.11 menampilkan model 3D nilai resistivitas dengan sayatan horizontal setiap kedalaman 5 m dari permukaan. Kemungkinan arah aliran fluida ditunjukkan oleh panah berwarna hitam yaitu dari arah barat menuju arah timur. Hal ini akan menyebabkan meningkatnya tingkat kejenuhan air pada posisi tersebut. Terlebih lagi persebaran tanah yang tersaturasi fluida memiliki nilai resistivitas rendah berkisar $\pm 10-14 \Omega m$. Sedangkan garis merah menunjukkan adanya retakan yang terjadi akibat longsor kecil pada daerah tersebut. Adanya anomali

konduktif dan retakan ini menunjukkan bahwa daerah penelitian merupakan daerah rawan longsor.



Gambar 4.11 Hasil model 3D dengan sayatan horizontal tiap kedalaman

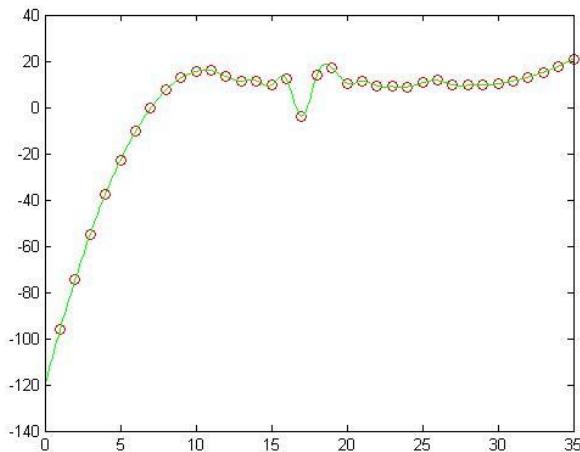
Persebaran fluida akibat dari retakan yang menyebabkan longsor pada daerah penelitian ini, dapat diidentifikasi dengan baik menggunakan metode VLF-EM. Namun, untuk melakukan validasi atas dugaan anomali yang diduga sebagai aliran atau lapisan yang tersaturasi fluida, perlu dilakukan penelitian tambahan dengan menggunakan metode geofisika yang lain salah satunya dengan metode SP.

4.2 Analisa Data SP

4.2.1 Interpretasi Kualitatif

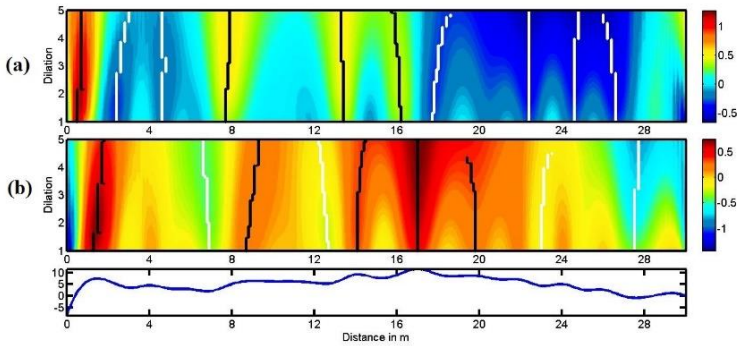
Saat melakukan pengukuran SP di lapangan data yang terukur bukan hanya data yang dibutuhkan untuk interpretasi, melainkan akan ada gangguan (*noise*). Salah satu penyebab noise pada data SP adalah adanya faktor naik turunnya pergerakan fluida

baik karena pengaruh suhu atau kelembapan tanah. *Noise* akan mempengaruhi hasil interpretasi dan akan sulit untuk menganalisa bawah permukaan tanah. Sehingga perlu dilakukan beberapa koreksi diantaranya koreksi harian, koreksi *reference* dan koreksi *closur*. Koreksi harian merupakan selisih antara nilai beda potensial terukur dengan nilai beda potensial pada *base station*. Koreksi *reference* dijumlahkan dengan nilai mutlak data SP berdasarkan profilnya. Sedangkan koreksi klosur merupakan nilai SP koreksi referensi dikurangi dengan nilai *drift* dibagi total jumlah data pengukuran dan dikali dengan data *point* dalam lintasan. Data SP yang sudah dilakukan koreksi klosur inilah yang akan diinterpretasikan.

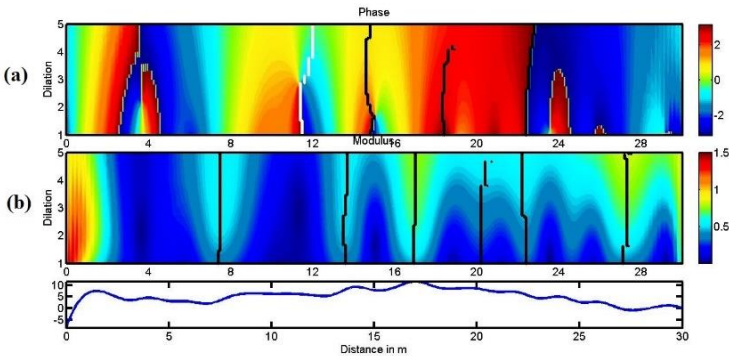


Gambar 4.12 Interpolasi data pada line 3

Pada pengolahan data dengan menggunakan CWT membutuhkan jumlah minimal 300 data. Sedangkan data yang didapat dari lapangan hanya sekitar 30 m dengan jarak antar titik pengambilan data 1 m sehingga hanya didapat 30 data. Oleh karena itu, dilakukan proses interpolasi untuk melipatgandakan data dengan mempersempit titik ukur yaitu 0,1. Gambar 4.12 merupakan contoh hasil interpolasi data pada line 3.



Gambar 4.13 Hasil CWT *real-imaginary* pada lintasan 1 H1



Gambar 4.14 Hasil CWT *phase-modulus* lintasan 1 H1

Analisis CWT dilakukan dengan menggunakan *software* Matlab 2013a dengan *script* MWTmanalyse.m. *Input* yang diperlukan adalah jenis *wavelet*, nilai parameter dilasi (A) minimal 1 dan maksimal 5, banyak dilasi sebagai kontrol resolusi 500 serta panjang *extrema* 80%. Dimana pada proses ini akan menghasilkan 4 komponen yaitu *real*, *imaginary*, *phase* dan *modulus* serta data nilai *extrema* yang nantinya digunakan untuk analisis posisi anomali. Gambar 4.13 (a) *real* dan (b) *imaginary* yang akan digunakan untuk analisis kedalaman baik secara horizontal dan vertikal. Sedangkan *Phase* ditunjukkan pada Gambar 4.14 (a) yang menunjukkan orientasi *dip* atau kemiringan *extrema* pada sumbu

vertikal maupun horizontal, *modulus* pada Gambar 4.14 (b) menunjukkan jumlah dan posisi anomali. Kedua komponen *wavelet* ini tidak digunakan untuk analisis kedalaman karena hanya dapat memberikan informasi posisi anomali.

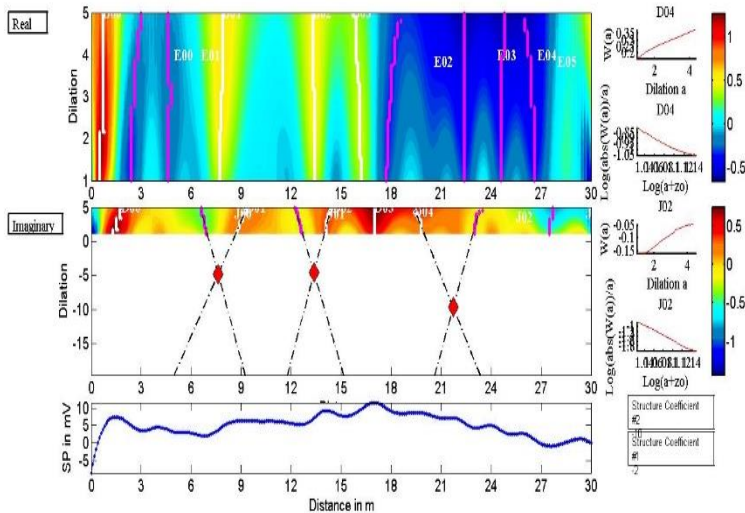
Analisis kedalaman dilakukan dengan menggunakan *script* MWTmatdepth.m. Identifikasi dilakukan terhadap *extrema* komponen *real* atau *imaginary*, pada komponen *wavelet* horizontal (H1, H2, H3, H4 dan H5) maupun vertikal (V1, V2, V3, V4 dan V5). Komponen *wavelet* horizontal merupakan derivatif dari persamaan *Pisson Kennel Family* sedangkan *wavelet* vertikal merupakan transformasi Hilbert dari *wavelet* horizontalnya. Identifikasi *extrema* pada komponen *real* dan *imaginary* sebagaimana pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Jenis *Wavelet* dan *Extrema* yang Digunakan

Jenis <i>Wavelet</i>	<i>Extrema</i> Komponen <i>Wavelet</i>
H1	<i>Imagnary</i>
H2	<i>Real</i>
H3	<i>Imagnary</i>
H4	<i>Real</i>
H5	<i>Imagnary</i>
V1	<i>Real</i>
V2	<i>Imagnary</i>
V3	<i>Real</i>
V4	<i>Imagnary</i>
V5	<i>Real</i>

Dalam suatu *wavelet* terdapat 2 jenis *extrema* yaitu *extrema* positif dan negatif. Identifikasi *wavelet* dilakukan dengan menghubungkan *extrema* positif dan negatif yang akan berpotongan. Perpotongan ini mengidentifikasi titik tengah

kedalaman serta posisi anomali data SP. Dalam satu *wavelet* titik perpotongan dapat lebih dari satu atau bahkan tidak ada sama sekali. Namun, yang akan digunakan untuk identifikasi kedalaman adalah yang memiliki bentuk seperti *cone* seperti Gambar 4.15 Yang merupakan posisi anomali pada *wavelet* H1 di lintasan 1.



Gambar 4.15 Identifikasi posisi anomali pada lintasan 1 dengan H1

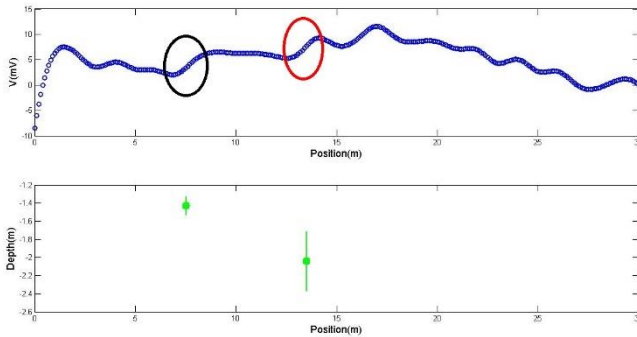
4.2.2 Interpretasi Kuantitatif

Analisis kedalaman dan posisi anomali dengan CWT dapat dilakukan dengan menggabungkan empat atau lebih *wavelet* baik hasil turunan horizontal maupun vertikal. Hasil analisis kedalaman dan posisi perpotongan *extrema* positif dan negatif pada setiap *wavelet* akan memiliki nilai yang saling mendekati namun tidak sama persis. Oleh karena itu, dilakukan perhitungan untuk mendapatkan titik tengah (*median*) dan nilai *interquartil* (ketidakpastian) dari nilai posisi dan kedalaman yang didapat. Tabel 4.2 merupakan data hasil perhitungan *median*, nilai ketidakpastian, serta *wavelet* yang digunakan untuk analisis kedalaman dan posisi anomali pada setiap lintasan.

Tabel 4.2 Hasil analisis kedalaman dan posisi anomali

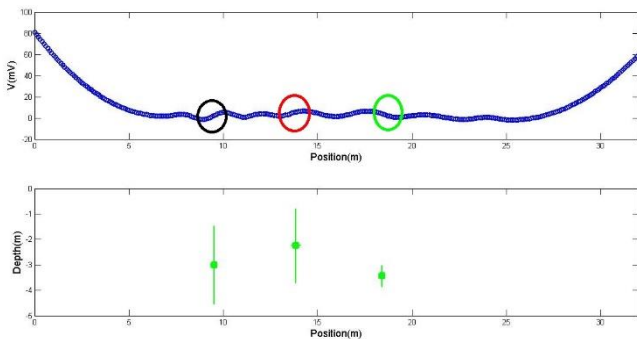
Lin.	Depth (m)	Position (m)	Iqr Depth	Iqr Position	Wavelet
1	-1.4298	7.52015	0.10135	0.17545	H1-H4, V1, V2, V3, V5
	-2.0414	13.5207	0.3304	0.0838	H1, H2, H3, H5, V1- V3
2	-3.00805	9.50375	1.525425	0.1073	H2, H3, H4, V2, V3, V4
	-2.2443	13.8404	1.4541	0.2303	H1, H3, V2, V3, V4
	-3.4446	18.3977	0.41545	0.16185	H1-H4, V2, V3, V4
3	-2.4606	17.21405	0.5319	0.440675	H1- H4, V1, V2, V3, V5
	-1.6724	26.1403	1.2284	0.1554	H3, H4, V1- V4
	-6.847	18.0345	0.2725	0.3331	H3, H4, V3, V4

Dari hasil analisis posisi dan kedalaman anomali pada lintasan pertama terdapat 2 anomali. Anomali pertama (lingkaran hitam) pada kedalaman 1.4289 m dari permukaan tanah pada jarak 7.52015 m, sedangkan anomali kedua (lingkaran merah) pada kedalaman 2.0414 m dari permukaan tanah pada jarak 13.5207 m. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 4.16 yang merupakan plot grafik beda potensial terhadap posisi, titik tengah kedalaman dan nilai ketidakpastian dari lintasan 1. Kedua anomali yang teridentifikasi menunjukkan kurva beda potensial yang berubah dari negatif ke positif yang merupakan anomali dipol. Anomali ini merupakan anomali dangkal yang kemungkinan merupakan rekahan.



Gambar 4.16 Data SP dan posisi anomali pada lintasan 1

Sedangkan pada lintasan kedua kemungkinan terdapat tiga anomali. Anomali pertama terletak di kedalaman 3.00805 m dari permukaan tanah pada jarak 9.50375 m. Anomali kedua terletak di kedalaman 2.2443 m dari permukaan tanah pada jarak 13.8404 m. Sedangkan anomali ketiga terletak di kedalaman 3.4446 m dari permukaan tanah pada jarak 18.3977 m. Ketiga anomali tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.17.

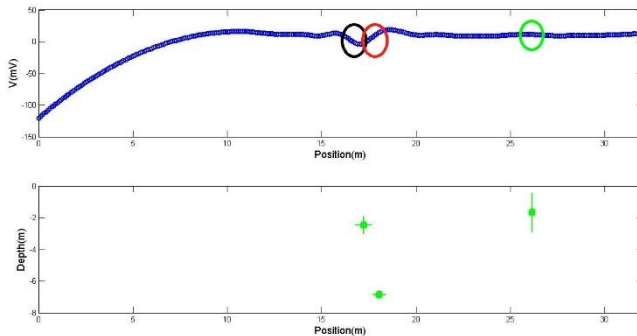


Gambar 4.17 Data SP dan posisi anomali pada lintasan 2

Anomali pertama (lingkaran hitam) dan anomali kedua (lingkaran merah) menunjukkan kurva beda potensial yang berubah dari negatif ke positif, sedangkan anomali ketiga (lingkaran hijau) menunjukkan kurva beda potensial yang berubah

dari positif ke negatif. Ketiga anomali ini merupakan anomali dipol. Ketiganya merupakan anomali dangkal yang kemungkinan juga merupakan rekahan.

Sedangkan pada lintasan ketiga kemungkinan terdapat tiga anomali. Anomali pertama terletak di kedalaman 2.4606 m dari permukaan tanah pada jarak 17.21405 m. Anomali kedua terletak di kedalaman 1.6724 m dari permukaan tanah pada jarak 26.1403 m. Sedangkan anomali ketiga terletak di kedalaman 6.847 m dari permukaan tanah pada jarak 18.0345 m. Ketiga anomali tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.18.



Gambar 4.18 Data SP dan posisi anomali pada lintasan 3

Anomali pertama (lingkaran hitam) menunjukkan kurva beda potensial yang berubah dari positif ke negatif dan anomali kedua (lingkaran merah) menunjukkan kurva beda potensial yang berubah dari negatif ke positif, kedua anomali ini merupakan anomali dipol. Anomali pertama dan kedua merupakan anomali dangkal yang kemungkinan juga merupakan rekahan. Sedangkan anomali ketiga (lingkaran hijau) merupakan anomali positif yang merupakan anomali monopol. Sedangkan anomali ini juga merupakan dangkal namun merupakan anomali yang disebabkan oleh adanya aliran fluida bawah tanah.

Berdasarkan analisa kedalaman dengan CWT dapat diketahui penyebab anomali pada setiap lintasan yaitu terdapat rekahan dan aliran fluida. Rekahan pada suatu daerah biasanya

akan mudah tersaturasi oleh fluida. Jika formasi batuan pada daerah tersebut merupakan batuan yang dengan mudah tersaturasi fluida maka kemungkinan daerah tersebut adalah daerah rawan longsor.

4.3 Hasil Integrasi Metode VLF-EM dan Metode SP

Hasil interpretasi dengan metode VLF-EM ditunjukkan Gambar 4.9 dan Gambar 4.11 yang merupakan hasil plot 3D dan menunjukkan persebaran nilai resistivitas sekitar daerah penelitian. Nilai resistivitas rendah warna ungu hingga biru tua mengindikasikan persebaran tanah yang tersaturasi fluida. Daerah penelitian merupakan bidang miring yaitu menurun dari arah barat ke arah timur, begitupun kemungkinan arah aliran fluida pada daerah tersebut. Hal ini akan menyebabkan meningkatnya tingkat kejenuhan air pada posisi tersebut. Terlebih lagi persebaran tanah yang tersaturasi fluida memiliki nilai resistivitas rendah yang merupakan anomali konduktif dan retakan ini menunjukkan bahwa daerah penelitian merupakan daerah rawan longsor.

Sedangkan berdasarkan analisa kedalaman dengan CWT dapat diketahui penyebab anomali pada setiap lintasan yaitu terdapat rekahan dan aliran fluida. Rekahan pada suatu daerah biasanya akan mudah tersaturasi oleh fluida. Jika formasi batuan pada daerah tersebut merupakan batuan yang dengan mudah tersaturasi fluida maka kemungkinan daerah tersebut adalah daerah rawan longsor.

Berdasarkan hasil analisa kuantitatif berdasarkan anomali dari masing-masing metode menunjukkan hasil anomali yang sama. Namun ada beberapa anomali yang hanya didapat oleh salah satu metode baik itu metode VLF-EM maupun metode SP. Umumnya pada penelitian ini anomali teridentifikasi dengan metode VLF-EM lebih banyak. Hal ini dikarenakan pada pengolahan data SP menggunakan *extrema* dengan panjang 80% sehingga menyebabkan titik potong antara *extrema* negatif dan positif (untuk menentukan titik anomali) berkurang. Sehingga data

anomali yang didapat dengan data VLF-EM lebih banyak dan jelas dibandingkan dengan anomali dengan data SP.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan di sekitar jalan raya Ponorogo-Trenggalek KM-23 merupakan daerah rawan longsor dengan kemungkinan longsor dari arah barat ke arah timur. Sebagian besar anomali yang ditemukan pada daerah ini merupakan anomali dangkal berkisar antara 1-6 m dari permukaan tanah. Persebaran aliran fluida akibat dari retakan yang menyebabkan longsor pada daerah penelitian ini, dapat diidentifikasi dengan baik menggunakan metode VLF-EM dan metode SP. Namun, untuk melakukan validasi atas dugaan anomali yang diduga sebagai aliran fluida, maka diperlukan komparasi dengan metode geofisika lain. Data penunjang lainnya seperti nilai resistivitas sample batuan, juga mampu memperkuat hasil dari penelitian ini.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Metode VLF-EM mendapatkan anomali resistivitas dengan nilai resistivitas rendah ($\pm 2-10 \Omega m$) yang mengindikasikan lapisan tersebut tersaturasi fluida dan metode SP mendapatkan anomali yang berupa anomali dipole dan monopole yang mengindikasikan adanya rekahan dan aliran fluida.
2. Daerah penelitian merupakan daerah rawan longsor yang disebabkan aliran fluida dari arah barat menuju timur dengan kedalaman berkisar 1-6 m.

5.2 Saran

Beberapa saran penulis untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Pengukuran dilakukan pada banyak lintasan dengan lebih panjang sehingga akan mendapatkan hasil yang lebih luas dan akurat.
2. Diperlukan data penunjang berupa nilai resistivitas sample batuan pada daerah penelitian.
3. Pengukuran dilakukan pada musim hujan dan musim kemarau untuk membandingkan hasil analisa data guna karakterisasi struktur muka air tanah lebih baik.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

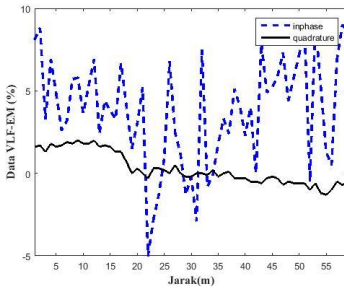
- Davydov, A.Ya., 1961. Positive Self-Potential Anomalies Over Sulfe Bodies. *Sovetskaya Geologiya*.
- Fagerlund, F., Heinson, G., 2003. Detecting subsurface groundwater flow in fractured rock using self-potential (SP) methods. *Environ. Geol.* 43, 782-784.
- Fikri, R., 2017. Rekonstruksi Bawah Permukaan Candi Belahan Menggunakan Metode Very Low Frekuensi (VLF-EM). Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Jurusan Fisika FMIPA ITS.
- Hunsucker, R.D., 2009. The high-latitude ionosphere and its effects on radio propagation
- Indriyani, D.D., 2014. Pemetaan Distribusi Aliran Sungai Bawah Tanah. Universitas Negeri Semarang, Jurusan Fisika FMIPA.
- Kaikkonen, P., 1979. Numerical VLF Modelling, *Geophysical Prospecting*.
- Mauri, G., Williams-Jones, G., Saracco, G., 2010. Depth determinations of shallow hydrothermal systems by self-potential and multi-scale wavelet tomography. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 191, 233–244. doi:10.1016/j.jvolgeores.2010.02.004.
- Reynolds, John., 1997. An Introduction to Applied and Environmental Geophysics. Singapore: John Wiley and Sons.
- Sampurno, H, Samodra. Peta Geologi Lembar Ponorogo, Jawa Timur. Bandung, 1997.
- Saracco, G., Labazuy, P., Moreau, F., 2004. Localization of self-potential sources in volcano-electric effect with complex continuous wavelet transform and electrical tomography methods for an active volcano. *Geophys. Res. Lett.* 31, L12610. doi:10.1029/2004GL019554
- Sassa, K., Tsuchiya, S., Fukuoka, H., Mikos, M., Doan, L., 2015. Landslides: review of achievements in the second 5-year

- period (2009–2013). *Landslides* 12, 213–223. doi:10.1007/s10346-015-0567-4
- Sato, M., Mooney, H.M., 1960. The electrochemical mechanism of sulphide self-potentials. *Geophysics* XXV.
- Sharma, S.P., Biswas, A., Baranwal, V.C., 2014. Very Low-Frequency Electromagnetic Method: A Shallow Subsurface Inverigation Technique for Geophysical Applications.
- Sungkono, Bahri, A.S., Warnana, D.D., Monteiro Santos, F.A., Santosa, B.J., 2014. Fast, simultaneous and robust VLF-EM data denoising and reconstruction via multivariate empirical mode decomposition. *Comput. Geosci.* 67, 125–138. doi:10.1016/j.cageo.2014.03.007
- Supriyanto, 2007. Analisis Data Geofisika: Memahami Teori Inversi
- Telford, W.M., Geldart, L.P., Sheriff, R.E., and Keys, D.A., 1990. *Applied Geophysics*, Cambridge, University Press Cambridge.
- Watts, R.D., 1978. Electromagnetic Scattering from Buried Wires 43, 767–781.
- Wijaya, O., 2014. Identifikasi Patahan Bawah Permukaan untuk Evaluasi Mud Vulcano di Gunung Anyar Tengah – Surabaya dengan Metode Very Low Frequency – Electromagnetic (VLF-EM). Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Jurusan Fisika FMIPA ITS.

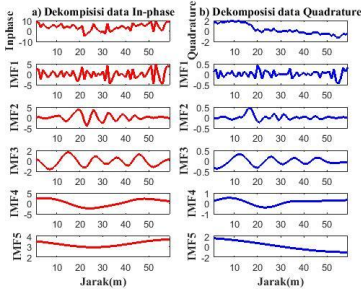
LAMPIRAN

LAMPIRAN A Hasil Pengolahan VLF-EM pada Tahap *Filtering NA-MEMD*

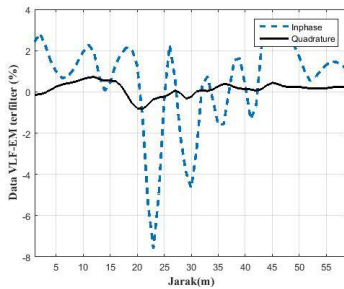
➤ Lintasan 1
Sebelum filtering



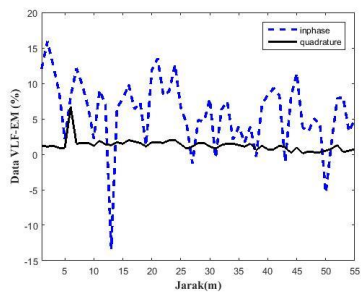
Pemisahan IMF



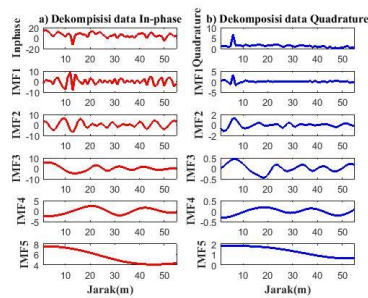
Sesudah filtering



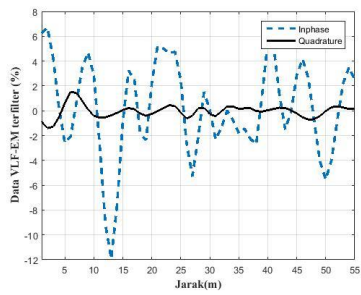
➤ Lintasan 2
Sebelum filtering



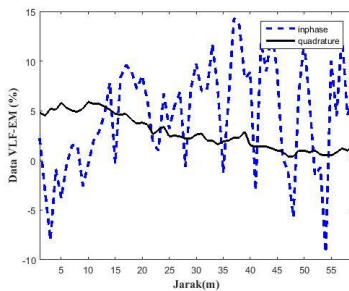
Pemisahan IMF



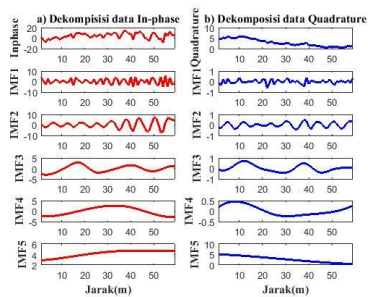
Sesudah filtering



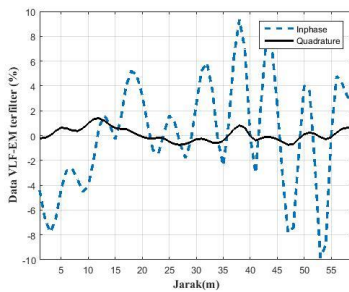
➤ Lintasan 3 Sebelum filtering



Pemisahan IMF



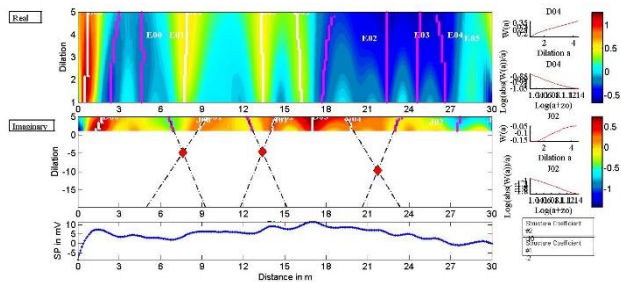
Sesudah filtering



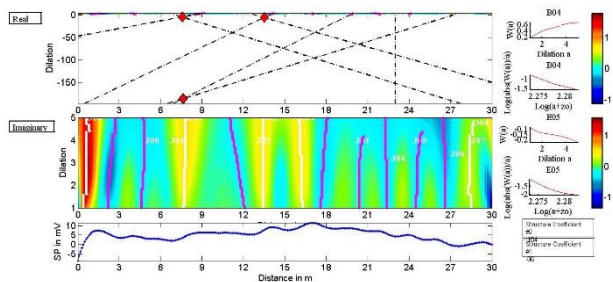
LAMPIRAN B Hasil Pengolahan SP *Extrema* pada Analisa MatDepth

➤ Lintasan 1

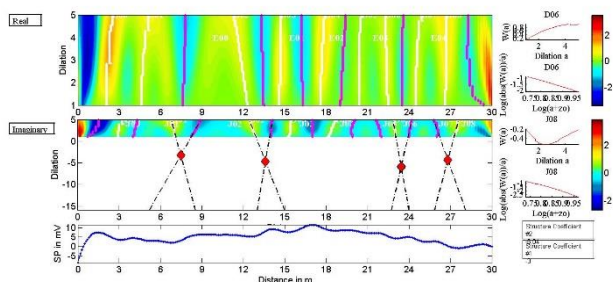
H1



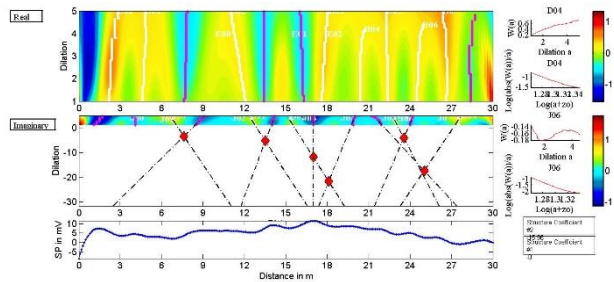
H2



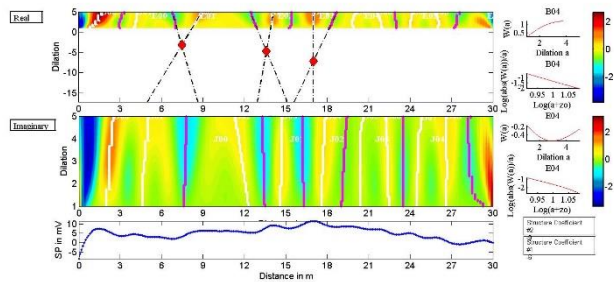
H3



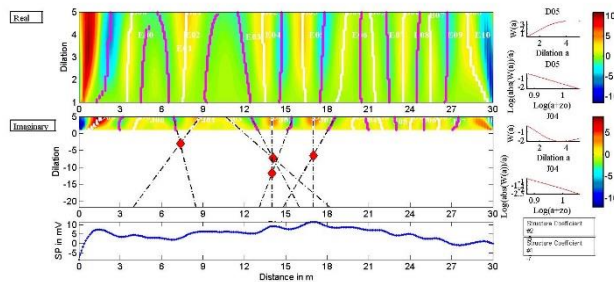
V2



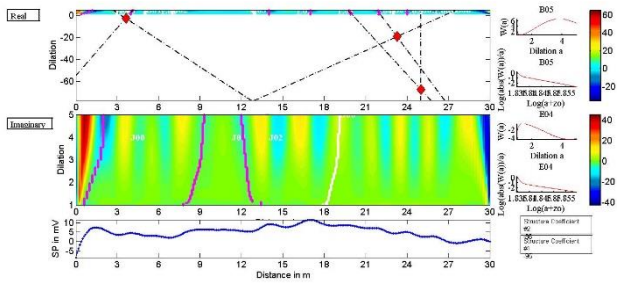
V3



V4

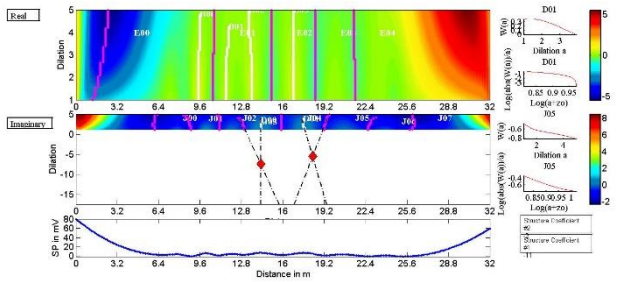


V5

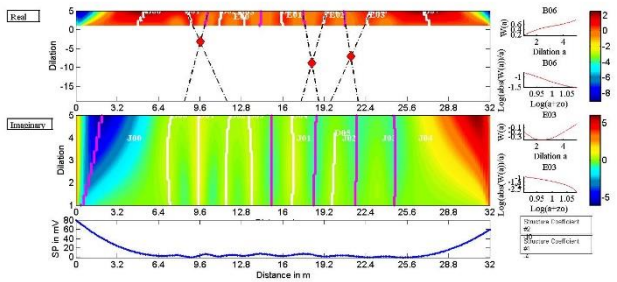


➤ Lintasan 2

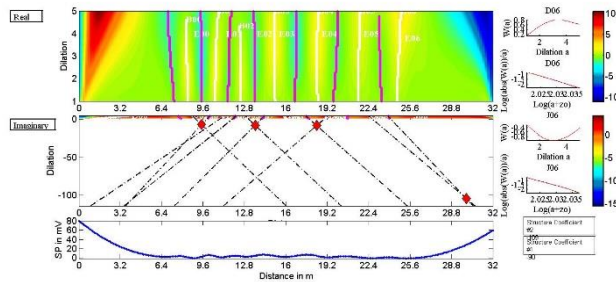
H1



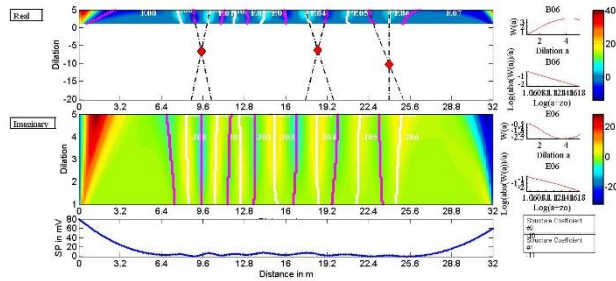
H2



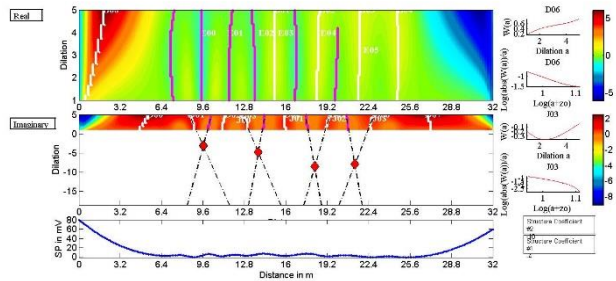
H3



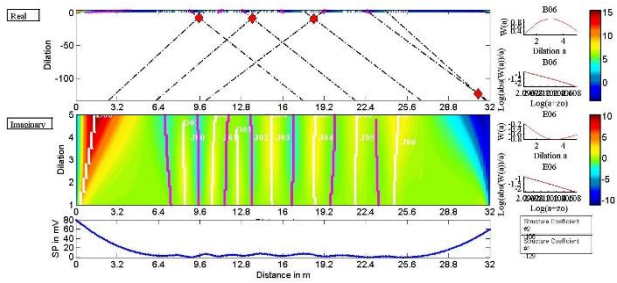
H4



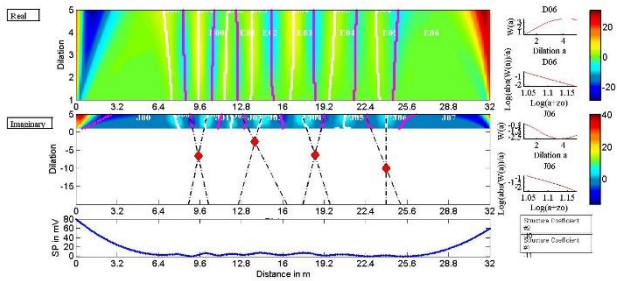
V2



V3

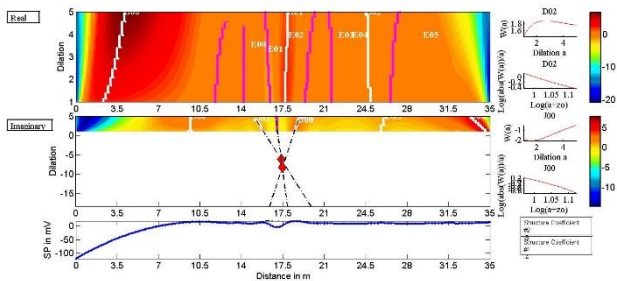


V4

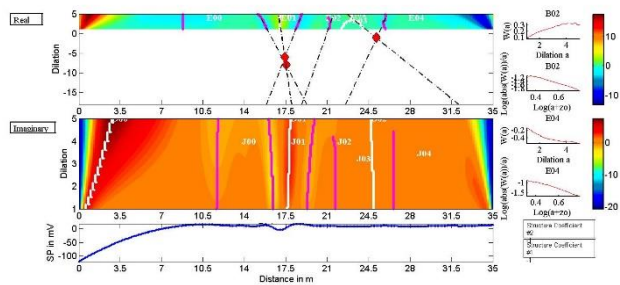


➤ Lintasan 3

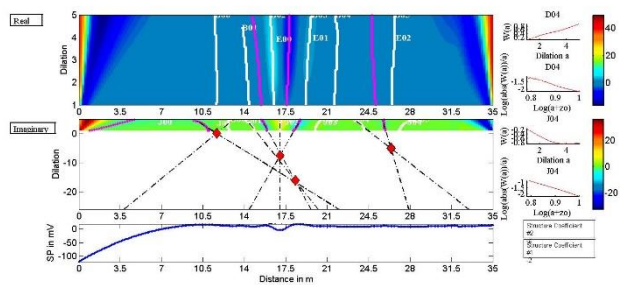
H1



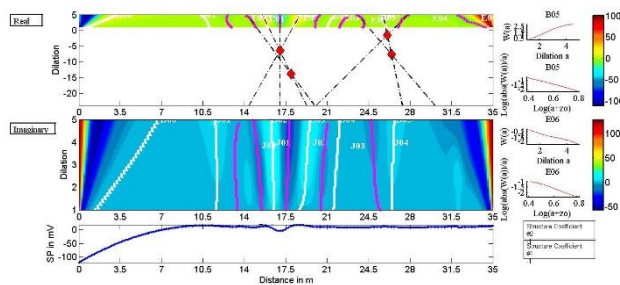
H2



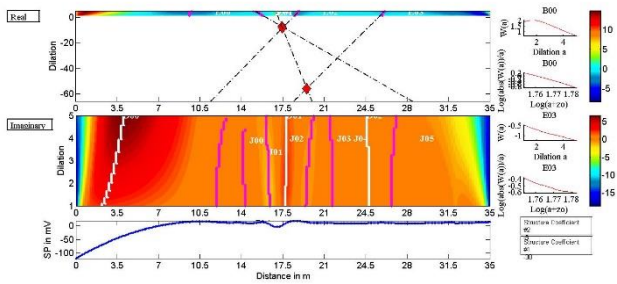
H3



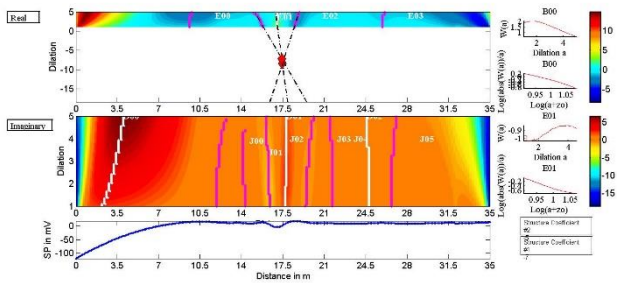
H4



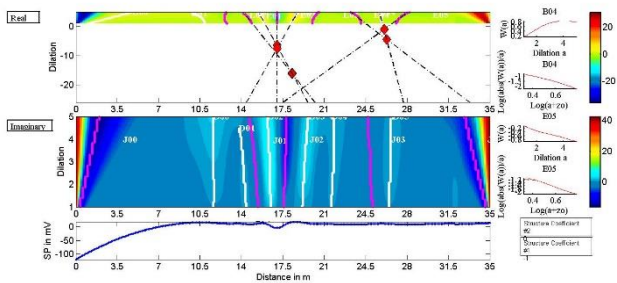
V1



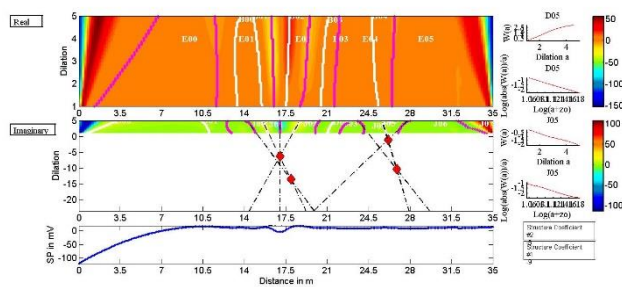
V2



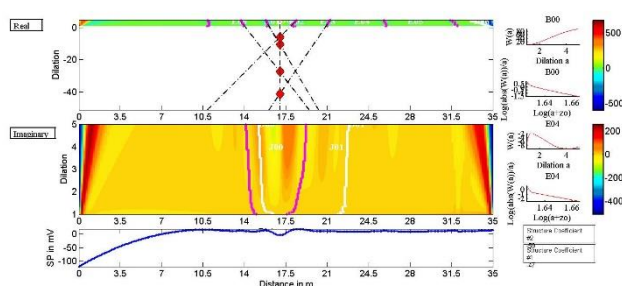
V3



V4



V5



BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap “Noviantika Fahrina” dan biasa dipanggil Novi. Penulis merupakan anak ke pertama dari tiga bersaudara yang lahir di Pamekasan pada tanggal 10 November 1994. Pendidikan formal yang ditempuh penulis TK Kartika X-10 Serpong Tangerang, SD mulai kelas I sampai kelas V semester pertama di SDN Pondok Jagung 2 yang kemudian di lanjutkan di SDN Pakong 1, kemudian melanjutkan di MTsN

Sumber Bungur Pamekasan dan yang terakhir di SMAN 1 Pakong.

Saat menempuh pendidikan penulis seringkali diikuti sertakan dalam beberapa olimpiade nasional terutama mata pelajaran fisika. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan S1 di Departemen Fisika Fakultas Ilmu Alam Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Selama menempuh pendidikan di Fisika ITS penulis memilih konsentrasi Fisika Bumi. Penulis juga aktif di organisasi HIMASIKA. Selama masa perkuliahan yang ada penulis juga mengikuti beberapa perlombaan LKTIN seperti Program Kreativitas Mahasiswa Nasional yang mana pada saat itu PKM yang diajukan oleh kelompok penulis didanai.

Harapan penulis adalah penulis dapat mengabdikan pada negara khususnya masyarakat sekitar, sehingga penulis dapat mengamalkan sedikit ilmu yang dimilikinya. Karna sebagaimana sabda Rasulullah “ilmu yang tidak diamalkan itu seperti pohon yang tidak berbuah”.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”